

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

щенности имеет место в районе точки D , где только от прожекторов мачты I освещенность $\mathcal{E} = 8,5 \cdot 10^4$.

Углы простираания вееро намечаем с некоторой условностью, как указано на рисунке, причем в данном случае сколько-нибудь значительно продолжать веера за угловую (единственную!) точку нет необходимости. В итоге на каждой из мачт устанавливаем два веера при $\theta = 24^\circ$, $\tau = 3,5^\circ$ и один веер при $\theta = 18^\circ$, $\tau = 1,6^\circ$, суммарно всего 118 прожекторов, причем удельная мощность составляет $10,5 \text{ Вт/м}^2$. Это значение является достаточно близким к тому, которое можно найти по выражению (3-31).

В тех случаях, когда специально нормирована вертикальная освещенность, переход к ней от горизонтальной осуществляется с помощью обычного коэффициента ψ (§ 3-4).

Чаще всего вертикальная освещенность рассчитывается и обеспечивается в плоскости, перпендикулярной проекции осевого луча, когда $\psi = x'$. В некоторых случаях приходится строить изолюксы вертикальной освещенности для такого же условия, причем это уже не будут кривые равной освещенности на какой-либо плоскости, а только геометрические места элементарных вертикальных площадок с заданной освещенностью.

Построение таких изолюкс отличается только тем, что формула для определения освещенности e принимает вид:

$$e = \frac{e r^{3/2}}{x'}.$$

Совершенно ясно, что построенные таким образом изолюксы будут иметь наибольшую площадь при $h = 0$ и $\theta = 0$, так что если имеет значение только вертикальная освещенность, то следует выбирать высоту наименьшую, возможную по условиям ограничения ослепленности.

В заключение необходимо указать, что вопросам расчета, проектирования и эксплуатации прожекторных осветительных установок посвящена книга [12].

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

РАСЧЕТ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСВЕЩЕНИЯ

4-1. ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОСВЕЩЕННОСТЬ

Определение понятия «цилиндрическая освещенность» и его характеристика даны в § 1-4. Расчет цилиндрической освещенности описывается далее в основном по материалам работ М. М. Гуторова и М. М. Епанешникова [13—15].

Пусть элементарный цилиндр высотой l и диаметром d освещается источником силой света I , расположенным, как показано

на рис. 4-1. На его поверхность падает такой же поток, как на поверхность вписанного в него прямоугольника I , перпендикулярного падающему лучу, т. е.

$$\Phi = ES = \frac{l}{R^2} dl.$$

Деля этот поток на боковую поверхность цилиндра πdl , получим

$$E_{\text{ц}} = \frac{l}{\pi R^2},$$

в то время как вертикальная освещенность в той же точке $E_{\text{в}} = I : R^2$.

Отсюда для данного случая $E_{\text{ц}} = E_{\text{в}} : \pi$.

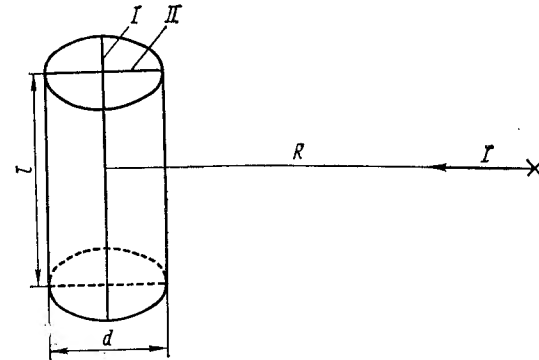


Рис. 4-1. Цилиндрическая освещенность от одиночного источника

Таким образом, цилиндрическая освещенность, создаваемая прямым светом одиночного источника, может быть просто определена через вертикальную освещенность в той же точке.

Если в цилиндр встроить еще прямоугольник II , перпендикулярный первому прямоугольнику, то получим всего четыре вертикальные поверхности, из которых три не имеют освещенности, а одна имеет освещенность $I : R^2$. Среднее из четырех значений освещенности будет $I : 4R^2$, что уже достаточно близко к цилиндрической освещенности. С увеличением числа поверхностей, на которых рассчитывается или измеряется вертикальная освещенность, а равным образом с увеличением числа источников света, расположенных вокруг элементарного цилиндра, значения величин $E_{\text{ц}}$ и $E_{\text{в}}$ все более сближаются.

Для расчета освещенности $E_{\text{ц}}$ от светящей линии, каждый элемент которой излучает по закону

$$I_{\alpha} = I_0 \cos^m \alpha,$$

может быть составлено дифференциальное выражение, интегрирование которого дает формулу, слишком сложную для практических целей, но которую можно привести к виду

$$E_{\text{ц}} = \frac{l \gamma \Phi'}{1000h} f(m, \delta, \gamma),$$

где обозначения величин соответствуют формуле (3-22) и рис. 3-18. Значения $f(m, \delta, \gamma)$ даются в специальных таблицах.

Для расчета освещенности $E_{\text{ц}}$ от диффузной поверхности предложено несколько способов, из которых ниже описывается графоаналитический способ М. М. Гуторова, представляющий наибольший интерес [14].

Пусть элементарный цилиндр освещается коаксиальным ему диффузным диском, граница которого определяется углом ϑ (рис. 4-2).

Выделим на диске элементарное кольцо, видимое из цилиндра под углом $d\vartheta$. Согласно выражению (3-26) создаваемая им элементарная освещенность будет

$$dE = L d\omega \cos \vartheta_x,$$

но так как

$$dE_{\text{ц}} = \frac{dE \operatorname{tg} \vartheta}{\pi},$$

а, как известно,

$$d\omega = 2\pi \sin \vartheta_x d\vartheta,$$

то

$$dE_{\text{ц}} = 2L \sin^2 \vartheta_x d\vartheta$$

и

$$E_{\text{ц}} = 2L \int_0^{\vartheta} \sin^2 \vartheta_x d\vartheta = L \times \left(\vartheta - \frac{\sin 2\vartheta}{2} \right). \quad (4-1)$$

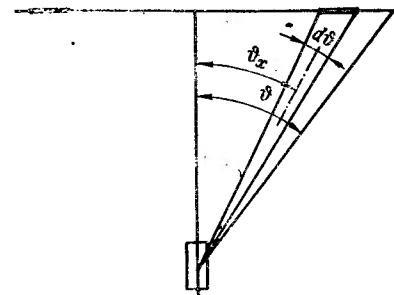


Рис. 4-2. Цилиндрическая освещенность от диска

В предельном случае при $\vartheta = 90^\circ$ это дает $E_{\text{ц}} = L\pi : 2 = M : 2$.

Вообразим теперь условную горизонтальную плоскость, проведенную на уровне 1 м над точкой определения освещенности $E_{\text{ц}}$. Если полюс построения совместить с этой точкой, то положение освещаемой поверхности будет координироваться на диаграмме значениями $x : h$, $y : h$ (направления осей безразличны). Разделим условную плоскость, например, на 36 секторов, создающих в точке равные доли освещенности $E_{\text{ц}}$, и проведем окружности, соответствующие изменению множителя при L в формуле (4-1) на 0,1. Каждый полученный четырехугольник соответствует множителю при L , равному $0,1 : 36 = 1/360$. Если изображение поверхности занимает на диаграмме n элементов, то поверхность создает в точке освещенность

$$E_{\text{ц}} = \frac{Ln}{360}.$$

Один из четырех квадрантов такого графика представлен на рис. 4-3. Если определена цилиндрическая освещенность от потолка, то освещенность от части стен, лежащих выше точки определения цилиндрической освещенности, определяется коэффициентом

том при яркости стен $L_{\text{стен}}$, дополняющим тот же коэффициент для потолка до $\pi : 2$, т. е.

$$E_{\text{ц.стен}} = L_{\text{стен}} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{n}{360} \right),$$

так как суммарно эти поверхности заполняют всю верхнюю полу-сферу, когда множитель при яркости равен $\pi : 2$. Равным образом, найдя составляющую цилиндрической освещенности от пола, можно найти освещенность от нижней части стен.

Графики, подобные описанному, могут быть построены и для излучателей, не являющихся диффузными.

В нормах СНиП значения цилиндрической освещенности регламентированы на уровне 1,5 м от пола в точке, лежащей у середины одной из торцевых стен помещения.

Для практических расчетов М. М. Епанешниковым и Т. Н. Сидоровой [16] разработаны упрощенные приемы расчета освещенности $E_{\text{ц}}$, основанные на следующих положениях и допущениях (последние оправданы тем, что при расчете $E_{\text{ц}}$ можно примириться с большей погрешностью, чем при обычных расчетах):

1. Прямоугольное помещение может быть заменено квадратным, имеющим тот же индекс помещения, рассчитываемый по высоте установки светильников над полом (не будем останавливаться на причинах, в силу которых играет роль также высота отдельно, так как эта роль очень невелика).

2. Все множество установленных в помещении светильников, а также потолок, заменяются сплошной светящей поверхностью, расположенной на уровне светильников — при преобладании прямого света и на уровне потолка — при преобладании отраженного света.

3. Этой поверхности приписывается светораспределение, характеризующееся одним из следующих значений показателя m : 1,0—1,43—2—3. Ближайшее значение m легко определяется по характеристикам светильника. Если более 50% светового потока светильников излучается в верхней полусфере, то принимается значение $m = 1,0$.

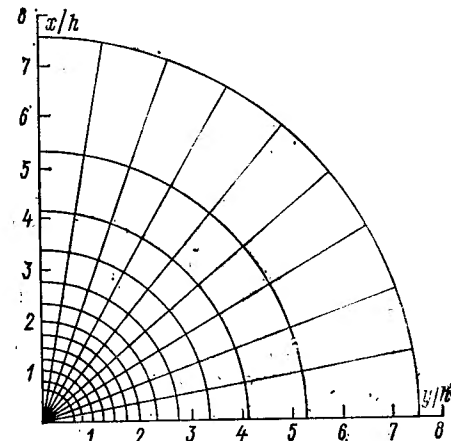


Рис. 4-3. Сетка для определения цилиндрической освещенности от горизонтальных диффузных прямоугольников

4. Световая мощность излучателей характеризуется плотностью потока Φ' в люменах на квадратный метр. Эта величина может быть определена по формуле

$$\Phi' = \frac{N(\Phi_{\text{с}} + \rho_{\text{п}}\Phi_{\text{д}})}{S}, \quad (4-2)$$

где N — число светильников; $\Phi_{\text{с}}$ — поток каждого светильника в нижней полусфере; $\Phi_{\text{д}}$ — то же, в верхней полусфере; $\rho_{\text{п}}$ — коэффициент отражения потолка; S — площадь потолка.

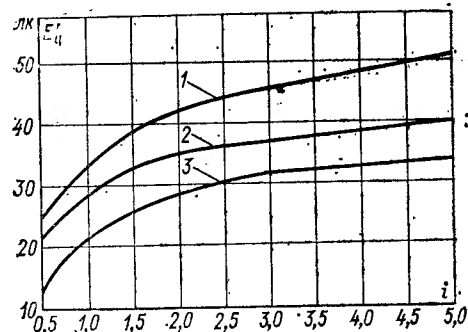


Рис. 4-4. График для определения цилиндрической освещенности при среднем значении h и при $m=0$

1 — $\rho_{\text{с}} = 0,5$, $\rho_{\text{р}} = 0,3$; 2 — $\rho_{\text{с}} = 0,5$, $\rho_{\text{р}} = 0,1$; 3 — $\rho_{\text{с}} = 0,3$, $\rho_{\text{р}} = 0,1$

5. Как видно из формулы (4-2), коэффициент отражения потолка влияет на величину Φ' , но в остальном его роль незначительна, и при расчетах можно исходить из среднего значения $\rho_{\text{п}} = 50\%$.

На основании этих положений могут быть построены графики зависимости цилиндрической освещенности от индекса помещения при условном значении $\Phi' = 100 \text{ лм/м}^2$ и среднем значении высоты, например, 4 м. Пример такого графика приведен на рис. 4-4.

Построение графика производится в следующем порядке.

Выбирается параметр m , для которого будут производиться расчеты, и значения $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{с}}$, $\rho_{\text{р}}$. Последовательно принимаются 5—6 опорных значений индекса помещения, причем форма помещения подразумевается квадратной (в этом случае $i = A : 2h$). Пользуясь коэффициентами вида $k_{\text{пл}}$, определяются яркости стен и пола. По сетке Гурова или таблицам определяются составляющие цилиндрической освещенности от потолка и пола, а затем от верхней и нижней частей стен, после чего все составляющие суммируются.

При пользовании подобными графиками находится значение цилиндрической освещенности при условной плотности потока 100 лм/м^2 , и фактически необходимая плотность потока определяется пропорциональным пересчетом с учетом коэффициента запаса.

Пусть, например, необходимо определить, сколько светильников требуется установить в помещении площадью $20 \times 12 \text{ м}$ и высотой 4,3 м для создания освещенности $E_{\text{ц}} = 100 \text{ лк}$ при $k = 1,5$. Светильники — потолочные, в каждом установлено четыре лампы ЛБ-40 ($\Phi = 3000 \text{ лм}$), причем в нижнюю полусферу излучается 55% потока лампы, а в верхнюю — 15%. Показатель $m = 1$. Заданы также $\rho_{\text{п}} = 70\%$, $\rho_{\text{с}} = 50\%$, $\rho_{\text{р}} = 10\%$.

Индекс помещения

$$i = \frac{240}{4,3(20 + 12)} = 1,75.$$

По графику рис. 4-4 находим условную цилиндрическую освещенность $E'_{\text{ц}} = 34 \text{ лк}$ и пропорциональным пересчетом определяем

$$\Phi' = 100 \frac{100 \cdot 1,5}{34} = 441 \text{ лм/м}^2.$$

Каждый отдельный светильник создает поток

$$\Phi = \frac{4 \cdot 3000(0,55 + 0,7 \cdot 0,15)}{240} = 32,7 \text{ лм/м}^2.$$

Следовательно, необходимо $441 : 32,7 = 14$ светильников.

МЭИ построены также графики, дающие в функции индекса помещения и коэффициентов отражения его поверхностей соотношение горизонтальной и цилиндрической освещенностей для различных m . Они позволяют, рассчитав одну из этих освещенностей, определить вторую, что удобно в случаях, когда нормированы обе эти величины. Наибольшее упрощение расчета достигается, если на графиках по А. М. Гурову и Ю. В. Прохорову (§ 3-3) дополнительно нанести кривую, показывающую необходимое число светильников для создания цилиндрической освещенности 100 лк .

4-2 КОЭФФИЦИЕНТ ПУЛЬСАЦИИ

Количественной мерой степени пульсации является отношение изменения светового потока или освещенности за период переменного тока к среднему значению этих величин. Так как у газоразрядных ламп положительные и отрицательные отклонения светового потока от среднего значения могут быть неодинаковыми, в качестве показателя выбрано отношение амплитуды изменения светового потока или освещенности к удвоенному среднему значению той же величины.

Выражения для величины $K_{\text{п.и}}$, характеризующей пульсации светового потока источников света или светильников, и $K_{\text{п}}$ — характеризующей пульсации освещенности на рабочей поверхности, имеют вид:

$$K_{\text{п.и}} = \frac{\Phi_{\text{max}} - \Phi_{\text{min}}}{\Phi_{\text{ср}}}; \quad K = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{E_{\text{ср}}}.$$

Основная таблица норм, в зависимости от разряда зрительных работ, устанавливает наибольшее значение $K_{\text{п}}$ в пределах от 10 до 20%; при отсутствии возможности возникновения стробоскопического эффекта в некоторых случаях допускается повышение этого значения до 30% или даже оно может не ограничиваться.

Определенными пульсациями потока обладают уже и лампы накаливания, особенно лампы малой мощности (среднее значение $K_{\text{п.и}}$ для нормальных ламп составляет около 7%), но задача ограничения пульсаций возникает только при использовании газоразрядных ламп. Средние значения $K_{\text{п.и}}$ для этих ламп ука-

Таблица 4-1

Тип лампы	Значение коэффициента пульсации $K_{п.и.}$ %, для			
	одной лампы	двух ламп в схеме отстающего и опережающего тока	двух ламп, питаемых разными фазами	трех ламп, питаемых разными фазами
ЛБ и ЛТБ	25	10,5	10	2,2
ЛХБ	35	15	15	3,1
ЛДЦ	40	17	17	3,5
ЛД	55	23	23	5
ДРЛ	65	—	31	5
ДКсТ	130	—	65	5

заны в табл. 4-1. Для ламп ДРИ по предварительным данным значение $K_{п.и.}$ составляет около 20%.

Если нормативные значения $K_{п.и.}$ не меньше, чем $K_{п.и.}$ лампы (или совокупности ламп в светильнике), то дополнительных мер для ограничения пульсаций не требуется, в противном же случае необходимое значение $K_{п.и.}$ достигается тем, что в освещении каждой точки рабочей поверхности участвуют светильники, присоединенные к различным фазам трехфазной сети. Для этого применяются двух- и трехфазные групповые линии, осуществляется определенный порядок присоединения светильников к разным фазам, а в некоторых случаях светильники сближаются или же в одной точке устанавливаются двойные или строенные светильники.

Для решения этих вопросов необходимо располагать достаточно простой методикой расчета коэффициента пульсации. Применяемая на практике методика основана на работах ВНИСИ [Ю. И. Свиридов и Ц. И. Кроль] [17, 18].

Анализ осциллограмм светового потока газоразрядных ламп показал, что мгновенные значения потока могут быть выражены зависимостью вида

$$\Phi_t = \Phi_{\min} + \Phi_a |\sin^n \omega t|, \quad (4-3)$$

где $\Phi_{\min}$, Φ_a — соответственно минимальное и амплитудное значения потока; ω — угловая частота; t — время; n — эмпирически определяемый показатель, равный 1,0 — для люминесцентных ламп, 1,7 — для ламп ДРЛ и 5,0 — для ламп ДКсТ. Подчеркивается, что в формулу входит абсолютное значение синуса и поэтому даже при $n = 1$ кривая зависимости не является синусоидой.

Когда в создании освещенности участвуют светильники трех фаз и если для фазы A определяющим углом будет ωt , то для фазы B этот угол будет $\omega t + 120^\circ$, а для фазы C $\omega t + 240^\circ$. Результативная кривая мгновенных значений освещенности будет суммой кривых для трех фаз при различных долевых соотношениях освещенности от светильников каждой фазы.

Построив эту кривую, можно определить ее амплитуду и среднее значение, т. е. найти $K_{п.и.}$ для различных случаев и в той или иной форме представить его зависимость от долевых соотношений освещенности от светильников разных фаз.

В табл. 4-2 (по Ю. И. Свиридову) [18] представлены данные для люминесцентных ламп, причем, чтобы избежать составления

Таблица 4-2

Освещенность от ламп фазы C	Значение коэффициента пульсации $K_{п.и.}$ %, при освещенности, % от ламп фазы									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0	42,3	45,0	48,0	51,2	54,5	59,9	64,9	71,5	79,3	88,5
10	37,4	39,4	41,8	44,9	47,8	52,3	56,9	62,6	69,0	77,4
20	32,3	34,3	36,8	39,4	41,5	45,2	49,5	54,8	60,8	
30	27,8	30,0	32,3	34,8	36,9	40,2	44,2	48,9		
40	23,4	25,9	27,9	30,2	32,6	35,4	39,2			
50	19,8	22,2	24,2	26,3	28,5	31,4				
60	17,2	19,2	21,2	23,4	25,7					
70	14,8	16,6	18,4	20,9						
80	12,4	14,2	16,3							
90	10,4	12,3								
100	8,9									

отдельных таблиц для каждой разновидности этих ламп, эта таблица составлена для условного значения $K_{п.и.} = 100\%$ и ее данные должны быть умножены на фактические значения $K_{п.и.}$. За 100% принята освещенность от светильников той фазы, долевое участие которых максимально.

Пусть при освещении лампами типа ЛДЦ в характерной контрольной точке лампы одной из фаз создают освещенность 300 лк, а двух других — по 150 лк. Приняв первую фазу за A и освещенность от ламп этой фазы за 100%, имеем от каждой из двух других фаз по 50%. В табл. 4-2 находим значение 31,4, а так как для ламп ЛДЦ $K_{п.и.} = 40\%$, то окончательно $K_{п.и.} = 31,4 \cdot 0,4 = 12,5\%$. В отличие от расчета освещенности характерные контрольные точки при расчете $K_{п.и.}$ выбираются под светильниками или их рядами, где в наибольшей степени выражена преобладающая роль какой-либо одной фазы.

Определение $K_{п.и.}$ по указанному способу несложно, но все же требует отдельного расчета освещенности от ламп каждой фазы. Поэтому в справочниках приводятся таблицы, в которых указано, при каких схемах фазировки и при каких расстояниях между светильниками или рядами светильников обеспечиваются те или иные нормативные значения $K_{п.и.}$. В частности, все значения $K_{п.и.}$, начиная от 10%, обеспечиваются: при установке в одной точке трех ламп типа ДРЛ, при установке в светильнике трех люминесцентных ламп разных фаз, при использовании светильников с лампами ЛБ или ЛТБ, питаемых однофазными линиями, если в каждом светильнике половина ламп питается по схеме отстающего, а половина — по схеме опережающего тока.

4.3. СРЕДНЯЯ ЯРКОСТЬ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Средняя яркость дорожных покрытий нормирована для городских и поселковых улиц исходя из условий зрительной работы водителей транспорта, вынужденных различать препятствия на

пути движения, при направлении осей зрения под углом около 1° ниже горизонтали.

Расчет средней яркости усложняется тем, что современные дорожные покрытия никоим образом не являются диффузными и в направлении зеркального отражения их яркость увеличивается в несколько десятков раз.

Как известно, в общем случае яркость L и освещенность E связаны соотношением

$$L = \frac{Er}{\pi},$$

где r — коэффициент яркости, который в отличие от коэффициента отражения может быть и большим единицы. Коэффициент яркости есть сложная пространственная характеристика, при заданном направлении осей зрения определяемая углом падения света на поверхность, т. е. обычным меридиональным углом α , и углом между проекцией луча, направленного в данную точку, и осью полосы движения. Только в направлениях, далеких от направления зеркального отражения, в частности для светильников, расположенных сзади по отношению к водителю, этот коэффициент сохраняет постоянное значение, близкое к 0,1.

Применяемые на практике методы упрощенного расчета средней яркости основаны на работах Я. Б. Зильберблата и М. А. Островского [19, 20].

Основой расчета средней яркости является коэффициент использования светового потока по яркости η_L , физический смысл которого ясен из выражения

$$\eta_L = \frac{\pi L_{\text{ср}}}{\Phi'}, \quad (4.4)$$

где $L_{\text{ср}}$ — средняя яркость; Φ' — световой поток ламп на единицу площади проезжей части. Если учесть, что выражение $\pi L_{\text{ср}}$ численно равно светимости, которую имела бы диффузная поверхность яркостью $L_{\text{ср}}$, то коэффициент η_L может быть определен как отношение потока, который отражала бы диффузная поверхность при данной яркости, к установленному потоку источников света.

Если нормативно задана яркость L_n при коэффициенте запаса k , то из формулы (4-4) следует, что для этого необходим удельный поток

$$\Phi' = \frac{\pi L_n k}{\eta_L},$$

а так как, в свою очередь,

$$\Phi' = \frac{\Phi}{bl},$$

где Φ — поток ламп, установленных на опоре; b — ширина освещаемой полосы; l — расстояние между светильниками, то легко определить l :

$$l = \frac{\Phi \eta_L}{\pi L_n k b}, \quad (4.5)$$

что и является рабочей формулой метода.

Расчет значений η_L — довольно сложная и кропотливая задача, в основном сводящаяся к тому, что пространство вокруг светильника разделяется на круговые зоны, для каждой из которых определяется световой поток и коэффициент его использования по отношению к полосе данной ширины и неограниченной длины (рис. 3-27). По специальной таблице находится средний коэффициент яркости для данной зоны и при полосе данной ширины. Отдельно учитываются светильники, расположенные сзади водителя, для которых $r = 0,1$. Учитывая сложность индивидуальных расчетов в Инструкции по проектированию наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов ВСН 22-75 [22] опубликованы значения η_L для всех

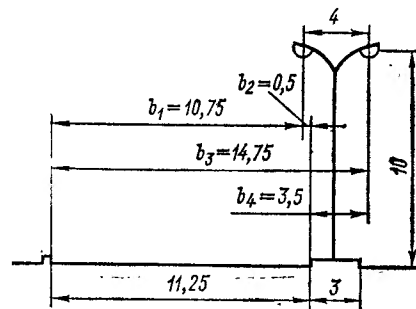


Рис. 4-5. Расчет средней яркости дорожных покрытий

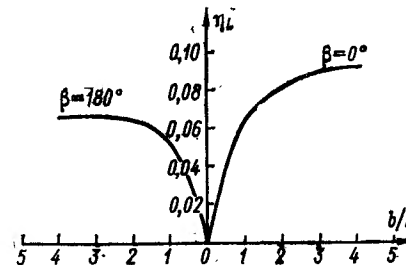


Рис. 4-6. Коэффициент использования по яркости светильника СКЗР 2×250

типовых светильников. Эти значения даются в функции отношения b/h , где b — ширина освещаемой полосы по одну сторону от светильников и h — высота их установки. Для светильников некруглосимметричных или установленных с наклоном значения η_L даются отдельно для $\beta = 0$ (сторона освещаемой полосы) и $\beta = 180^\circ$ (противоположная сторона).

При освещении полосы несколькими рядами светильников числитель в формуле (4-5) заменяется выражением $\sum \Phi_i \eta_{Li}$, причем произведения, находящиеся под знаком суммы, отдельно определяются для каждого ряда.

Методика расчета по средней яркости поясняется примером для случая, представленного на рис. 4-5. При освещении светильниками СКЗР 2×250 ($\Phi = 2 \times 11\,000$ лм) требуется определить расстояние между светильниками, при котором обеспечивается яркость $L = 1,6$ кд/м² при $k = 1,5$.

В качестве справочных данных приводится табличка значений η_L по ВСН 22-75:

b/h	0,5	1,0	1,5	2	2,5	3	4
η_L :							
для $\beta = 0^\circ$	0,04	0,065	0,075	0,081	0,086	0,088	0,092
для $\beta = 180^\circ$	0,037	0,056	0,062	0,064	0,065	0,066	0,066

На основании учтенных в дальнейшем расчете значений η_L для большей точности построен график (рис. 4-6).

Значения η_L определяем:

а) от левого светильника — как сумму значений для b_1 при $\beta = 0^\circ$ и для b_2 при $\beta = 180^\circ$, а именно: $0,066 + 0,004 = 0,070$;

б) от правого светильника — как разность значений для b_3 и b_4 в обоих случаях при $\beta = 180^\circ$, а именно: $0,061 - 0,003 = 0,058$.

Отсюда

$$l = \frac{2 \cdot 11\,000 (0,070 + 0,058)}{3,14 \cdot 1,6 \cdot 11,25 \cdot 1,5} = 33 \text{ м.}$$

При решении этого примера можно было бы в числителе учесть поток всех ламп на опоре, а в знаменателе — двойную ширину полосы, что не изменило бы результата.

Нормы требуют обеспечения не только средней яркости дорожных покрытий, но и соблюдения предельно допустимых отношений максимальной яркости к минимальной. Определение этих отношений требует определения значений яркости отдельных точек и является очень сложной задачей, практически разрешимой только с помощью ЭВМ. Поэтому в практике проектирования пользуются типовыми вариантами, не только отвечающими всем нормативным требованиям, но и являющимися экономически оптимальными.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

5-1. НАПРЯЖЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Выбор напряжения для питания осветительной установки определяется общими решениями, принятыми для электроснабжения объекта, а для отдельных частей этой установки — также требованиями электробезопасности.

В данное время для производственных, общественных и жилых зданий, а также для открытых пространств наиболее распространенным является питание напряжением 380/220 В (номинал трансформаторов 400/231 В) при заземленной нейтрали. Иные напряжения, а также системы с изолированной нейтралью применяются в специальных случаях, здесь не рассматриваемых.

До 1938 г. с этой системой конкурировала система 220/127 В. Ее реальными преимуществами являются несколько большая световая отдача ламп накаливания и меньшая опасность поражения электрическим током, хотя с точки зрения нормативных требований в последнем отношении обе системы равноценны. Ре-

шающим недостатком системы 220/127 В являются значительно более тяжелые сети и увеличенный объем распределительных устройств. При решении вопроса в пользу системы 380/220 В учитывался прежде всего экономический эффект от питания силовой и осветительной нагрузки от общих трансформаторов при напряжении 380/220 В.

Номинальное напряжение подавляющего большинства источников света, применяемых для основного, т. е. общего, освещения составляет 220 В, соответствуя фазному напряжению системы 380/220 В. Это напряжение допускается, однако, с некоторыми ограничениями, обусловленными требованиями электробезопасности.

Для общего освещения это напряжение, без ограничения высоты установки светильников, допускается для светильников с люминесцентными лампами — во всех помещениях, а для светильников с лампами всех других типов — в помещениях без повышенной опасности *.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных для ламп накаливания, а также для ламп типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ напряжение 220 В допускается при высоте установки не менее 2,5 м (до нижних точек светильников), а при меньшей высоте — в случае применения светильников, в которых для доступа к лампе необходимо применение инструмента [6].

Последнее требование в прежних редакциях ПУЭ формулировалось несколько иначе и сводилось к необходимости применения светильников, стекла или сетки которых снимаются с помощью специальных приспособлений. Соответственно некоторые светильники имели такую конструкцию, что стекла могли сниматься только с помощью торцевого ключа. В данное время признано достаточным, если для снятия стекла необходимо применение отвертки, плоскогубцев и т. п.

Приведенное ограничение высоты не распространяется на светильники, устанавливаемые в электропомещениях или же обслуживаемые с кранов или площадок, посещаемых только квалифицированным персоналом.

При установке светильников с лампами накаливания в помещениях с повышенной опасностью или особо опасных на высоте менее 2,5 м, если доступ к лампе возможен без применения инструмента, для питания светильников должно применяться напряжение не выше 42 В.

Необходимо пояснить, что напряжение 42 В установлено рекомендациями Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) как предельно допустимый уровень безопасного напряжения. В сложившейся в СССР практике для питания светильников применяется напряжение 36 В, что не выходит за пределы допустимого по рекомендациям МЭК.

Указанное выше нормативное ограничение конструкции светильников не дает полной гарантии безопасности, так как практически не исключено, вопреки всем запрещениям, обслуживание не отключенных светильников, а также экс-

* Классификация помещений по степени опасности поражения электрическим током приведена в гл. I-1 ПУЭ.

плуатация светильников без стекол и сеток. Поэтому в особо опасных условиях, например в загроможденных оборудованном особосырых помещениях, а также при установке на высоте менее 1,8 м, должно применяться исключительно напряжение не выше 42 В. Такое же напряжение применяется, в частности, для кабельных туннелей.

Относительно смягченные требования для люминесцентных светильников обусловлены тем, что патроны для люминесцентных ламп должны иметь, и фактически имеют, недоступные для случайных прикосновений контактные части. Кроме того, нельзя не учитывать фактическую невозможность питания люминесцентных ламп напряжением не свыше 42 В, равно как в ряде случаев, даже по соображениям электробезопасности, нельзя отказываться от применения этих ламп.

Если в светильники вводятся провода двух или трех фаз (что происходит, например, если лампы в светильнике разделены на несколько включений, если используются лампы с номинальным напряжением 380 В или если используются некоторые специальные типы ПРА), то в светильниках окажутся контактные части, между которыми напряжение составляет 380 В. ПУЭ требуют, чтобы в этом случае вводы в светильники и ПРА выполнялись проводниками с медными жилами и изоляцией не ниже чем на 660 В, в помещениях же с повышенной опасностью и особо опасных необходимо, кроме того, обеспечивать одновременное отключение всех вводимых в светильник фазовых проводов, а на светильники должны быть нанесены отличительные знаки: «380 В». Подчеркивается, что два последних требования не распространяются, например, на многоламповые люстры в общественных зданиях.

В последние годы наряду с системой 380/220 В для питания силовых установок начинает применяться система 660/380 В. Эта система непосредственно может применяться для тех источников света или комплектов лампа — ПРА, для которых 380 В уже является номинальным напряжением, в частности для ламп ДРЛ и ДРИ мощностью 2000 Вт. В этом случае должны соблюдаться требования, указанные выше для светильников, в которые вводятся две-три фазы системы 380/220 В, причем ввод в светильники двух фаз системы 660/380 В запрещен. На предприятиях, где основная силовая нагрузка питается от сети 660/380 В, для освещения, а также для мелкомоторной и технической нагрузки сохраняются трансформаторы 380/220 В, питаемые или от трансформаторов 660/380 В или от сети 6—10 кВ. Вместе с тем рассматривается вопрос о технической и экономической целесообразности перевода на напряжение 660/380 В если не всего освещения, то, по крайней мере, освещения газоразрядными лампами, путем создания соответствующих ПРА или использования последовательного включения ламп.

Все вышесказанное относится к светильникам общего освещения. Для местного освещения, светильники которого находятся в непосредственной близости к работающему и практически им обслуживаются, предъявляются более жесткие требования. Светильники с люминесцентными лампами, включаемые, естественно, на напряжение 220 В, разрешается применять (при недоступности контактных частей для случайных прикосновений) для местного освещения во всех помещениях, кроме сырых, особосырых, жарких и с химически активной средой. В последних четырех группах помещений допустимо применение светильников только специальной конструкции.

Для светильников с лампами накаливания напряжение 220 В допускается только в помещениях без повышенной опасности, в остальных же случаях должно применяться напряжение не выше 42 В. Как исключение ПУЭ допускают применение напряжения до 220 В для светильников специальной конструкции, являющихся частью аварийного освещения, присоединенного к независимому источнику питания, а также устанавливаемых в помещениях с повышенной опасностью, но не особо опасных.

Там, где выше говорится о светильниках с люминесцентными лампами специальной конструкции, подразумевается, что ни проектировщикам, ни работникам эксплуатации не предоставляется права решать, может ли данный конкретный светильник быть признан имеющим «специальную» конструкцию. Такое решение должно приниматься заводом-изготовителем по согласованию с соответствующими организациями и быть зафиксированным в технических условиях и каталогах.

Наиболее опасными в отношении возможности поражения электрическим током являются ручные светильники переносного освещения. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных для них должно применяться напряжение не выше 42 В, а при наличии неблагоприятных условий, когда опасность усугубляется теснотой, неудобным положением работающего и возможностью его соприкосновения с большими заземленными металлическими поверхностями, — не выше 12 В. Переносные светильники, не являющиеся ручными, т. е. подвесные, напольные, настольные и т. д., приравниваются при выборе напряжения для их питания к стационарным светильникам местного освещения.

Поскольку напряжение 12 В крайне неблагоприятно в сетевом отношении, не следует злоупотреблять его использованием. Случаи, когда для ручных светильников требуется это напряжение и когда возможно применение напряжения до 42 В, указываются в отраслевых нормах и ведомственных рекомендациях. Так, в машиностроительной промышленности и в прокатных цехах (а тем более почти во всех цехах легкой промышленности) может быть допущено и должно применяться напряжение до 42 В, а в котельных, насосных, сталелитейных цехах и т. д. необходимо напряжение 12 В.

Следует, конечно, избегать применения в пределах одного здания двух различных малых напряжений, но с учетом сказанного это не всегда возможно.

Недавно станочная промышленность начала комплектовать свои изделия установками местного освещения на напряжение 24 В, в связи с чем можно ожидать, что это напряжение (хотя и не имеющее весомых преимуществ) будет частично вытеснять напряжение 36 В. Вопрос о принятии напряжения 24 В в качестве единого малого напряжения для осветительных сетей пока, к сожалению, не получил поддержки, хотя в ряде зарубежных стран, которым СССР оказывает техническую помощь, все сети местного и переносного освещения выполняются на напряжение 24 В.

Источники света, как известно, весьма критичны к уровню фактически подводимого к ним напряжения (см. § 2-4), в связи с чем имеет большое значение вопрос об отклонениях и колеба-

ниях напряжения в осветительных сетях. Нормативные требования к отклонениям напряжения вкратце сводятся к следующему.

Напряжение у электрически наиболее удаленных ламп внутреннего освещения промышленных предприятий и общественных зданий, а также прожекторных установок наружного освещения должно быть не менее 97,5% номинального, а у наиболее удаленных ламп освещения жилых зданий, аварийного (если последнее не является частью рабочего освещения) и наружного освещения, выполненного светильниками, — не менее 95% номинального. Наибольшее напряжение у ламп, как правило, не должно быть выше 105% номинального. При аварийных режимах напряжение у ламп должно быть не менее 88% номинального. В установках с газоразрядными лампами напряжение во всех случаях не должно быть ниже 90% номинального. В сетях 12—36 В допускается потеря напряжения до 10%, считая от выводов трансформаторов до ламп.

Здесь, как и во многих других случаях технического нормирования, осуществляется уже упомянутый принцип разумного компромисса между желаемым и возможным и не следует искать строгого обоснования перечисленных требований, хотя практика многих десятилетий подтверждает их разумность. В частности в сетях 12—36 В допускается увеличенная потеря напряжения не потому, что лампы этих напряжений менее чувствительны к отклонениям напряжения — этого нет, а потому, что меньшую потерю напряжения в этих сетях трудно обеспечить.

Ценные дополнительные указания содержатся в Инструкции СН 357-77 [5]. Для небольших зданий вспомогательного характера, удаленных от источников питания или питаемых общими линиями с силовой нагрузкой, допускается, как исключение, уровень напряжения у ламп 95% номинального, однако при расчете освещения должен учитываться световой поток источников света, соответствующий сниженному напряжению. В особо исключительных случаях, когда соблюдение нормативных требований приводит к абсурдным или неосуществимым решениям, допускается в установках с лампами накаливания осуществлять произвольно пониженные уровни напряжения (при соблюдении норм освещенности), но это должно быть обосновано технико-экономическими расчетами.

При трудности обеспечить нормированные уровни напряжения возможно и рекомендуется другое решение, а именно: применение добавочных трансформаторов (ВДТ), в качестве которых могут быть использованы одно- или трехфазные трансформаторы 220/12 или 220/24 В. Включение их в сеть показано на рис. 5-1. В установках внутреннего освещения они включаются перед щитками, в установках наружного освещения — у прожекторных мачт или в разрез протяженных линий, питающих светильники. В последнем случае, при очень большой протяженности линий, возможно включение ВДТ в нескольких точках линии.

Вольтодобавочные трансформаторы нагружаются в пределах номинального тока обмотки низшего напряжения, что позволяет

использовать маломощные трансформаторы для повышения уровня напряжения у значительной нагрузки. Так, трансформатор 220/12 В, 250 В·А, имея номинальный ток вторичной обмотки около 20 А, может быть использован при нагрузке линии до $220 \times 20 = 4400$ В·А и позволяет увеличить потерю напряжения в сети на $(12 : 220) 100 = 5,4\%$ при обеспечении у ламп нормированного уровня напряжения.

Интересно отметить, что та же схема, только в зеркальном изображении (т. е. если на рисунке поменять местами источник питания и потребители), приводит к интересному случаю использования трансформаторов в качестве вольтодобавочных. Необходимость в этом встречается при присоединении потребителей 220 В к сетям 240 В, распространенным в некоторых зарубежных странах (в этом случае используются трансформаторы 220/24 В), или при повышенном уровне напряжения на источнике питания, что имеет место на некоторых промышленных предприятиях.

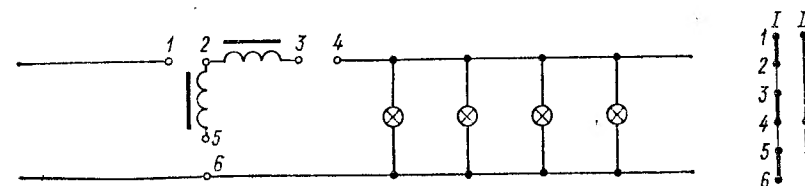


Рис. 5-1. Включение в однофазную сеть вольтодобавочного трансформатора (ДТ) справа — схема аппарата управления: 1 — питание через ДТ; II — питание помимо ДТ

В установках, где применяются вольтодобавочные трансформаторы должна быть обеспечена возможность отключения от сети обмоток как высшего, так и низшего напряжения, причем без нарушения питания нагрузки (см. рис. 5-1). В противном случае в часы спада нагрузки, когда горят единичные лампы, а потеря напряжения в силовом трансформаторе и в сети близка к нулю, ко включенным лампам подводилось бы напряжение холостого хода трансформаторов, сложенное с добавочным напряжением, которое дает добавочный трансформатор, т. е. 243 В. Такая сеть была бы не гибкой.

Гибкость, т. е. способность нормально выполнять свои функции в условиях вероятных изменений нагрузки, является одним из важных свойств электрических сетей, и необходимость обеспечить гибкость служит одним из оснований для ограничения потери напряжения в сети.

В силу ряда причин, связанных с системой электроснабжения в целом, отклонения напряжения в осветительных сетях часто выходят за установленный нормами предел (105% номинального), что губительно сказывается на сроке службы источников света, особенно ламп накаливания.

Для ограничения напряжения и стабилизации его на номинальном уровне применяются специальные аппараты, из которых

наиболее распространен тиристорный ограничитель напряжения ТОН (промышленность выпускает аппараты ТОН-3-220-63 и ТОН-3-220-100; последнее число означает номинальный ток).

ТОН — трехфазный аппарат, состоящий из трех одинаковых, независимо работающих секций, помещенных в общем шкафу и присоединяемых к сети через трехполюсный выключатель и предохранители. Рабочим элементом аппарата являются блоки полупроводниковых вентилей, которые с помощью системы управления и регулирования пропускают ток в пределах определенной части периода (или, как принято говорить, открываются на определенный электрический угол), в результате чего снижается эффективное выходное напряжение.

При напряжении питания, равном или меньшем номинального, ТОН выдает на нагрузку сетевое напряжение, уменьшенное на значение потерь напряжения в самом аппарате (1 В); если же напряжение питания повышается сверх номинального, то на нагрузку поступает номинальное напряжение $\pm 1,5\%$. Аппараты ТОН позволяют регулировать уставку выходного напряжения в пределах 0,9—1,05 номинального, что дает возможность подбирать для реальных условий конкретных осветительных установок оптимальный уровень напряжения с учетом потерь напряжения в осветительной сети. Аппараты ТОН используются при любых источниках света, но при люминесцентных лампах — только если не более половины всех ламп включено по схеме опережающего тока, а при лампах ДРЛ — только при отсутствии компенсирующих конденсаторов, которые могут устанавливаться перед ограничителем напряжения, со стороны источника питания.

Аппарат имеет коэффициент полезного действия 99%. К числу его недостатков относятся снижение коэффициента мощности сети, ухудшение гармонического состава кривых тока и напряжения (что, в частности, увеличивает радиопомехи) и некоторое увеличение коэффициента пульсации газоразрядных источников света.

Для надежной и безопасной работы аппарата, помимо основной нагрузки, непосредственно к его выводам рекомендуется присоединить по одной лампе накаливания 40 Вт на каждую фазу.

Быстродействие ограничителя, по разным данным, лежит в пределах 0,02—0,1 с. В силу этого он ослабляет, но не уничтожает колебания светового потока источников света при резких колебаниях напряжения.

Дополнительные затраты, связанные с применением тиристорных ограничителей напряжения, при определенном значении сетевого напряжения окупаются увеличением срока службы источников света и уменьшением потребляемой ими мощности. Многочисленные предприятия, имеющие опыт использования ограничителей, дают о них положительные отзывы и указывают, что после их установки расход мощности лампами накаливания сократился вдвое.

Окупаемость ограничителей зависит от значения среднего эксплуатационного напряжения в сети, годового числа часов использования освещения, трудности доступа к лампам для обслуживания и т. д. При использовании ламп накаливания ТОН окупает себя уже при напряжении начиная от 101—103% номинального, при газоразрядных лампах — при напряжении 105—115%.

Подробнее о применении этих ограничителей см. в статье [22].

Различного рода аппараты, полупроводниковые или автотрансформаторные, применяются также для глубокого регулирования напряжения в осветительных сетях. Так, в зрелищных предприятиях глубокое регулирование применяется как для сценического освещения, так и для освещения зрительного зала. В бытовом освещении некоторое применение получил «светорегулятор», позволяющий

при желании уменьшать поток лампы. Перспективен, но еще недостаточно изучен вопрос о таком регулировании освещения, когда в помещении поддерживается постоянный суммарный уровень естественной и искусственной освещенности и т. д.

Если постепенные, плавные, изменения освещенности вполне безвредны и даже способствуют тренировке адаптационного аппарата глаза, то резкие, тем более часто повторяющиеся изменения освещенности из-за колебаний напряжения в сети являются по меньшей мере неприятными и часто признаются мешающими работе. Вместе с тем выполненные до сих пор исследования дали только возможность субъективно оценить впечатление от колебаний освещенности, но не выявили объективных показателей их вредности, вероятно, из-за ограниченной длительности опытов.

Что касается субъективной оценки, то она характеризуется большим разбросом показаний как различных подопытных, так и одних и тех же лиц в разные дни. Усредняя данные, можно считать, что при всех источниках света различаются мгновенные изменения напряжения начиная от 1%, хотя отдельные наблюдатели уверенно замечают и колебания в 0,5%. При частоте колебаний около 1 Гц только для 25% опрошенных порог «неприятного ощущения» лежал ниже 2,5%, а порог оценки «мешает» — ниже 4,5%, без резко выраженной зависимости от освещенности и от типа источника света. Большую роль, конечно, играет частота колебаний, с возрастанием которой увеличивается их неприятное действие, достигая максимума в области частот 8—16 Гц.

ГОСТ 13109—67 [23] не ограничивает частоты колебаний с амплитудой менее 1%, устанавливая для больших колебаний предельную частоту n в зависимости от амплитуды ΔU :

$$n = \frac{6}{\Delta U - 1}. \quad (5-1)$$

Надо, однако, сказать, что достаточные основания для столь точной регламентации частоты колебаний напряжения отсутствуют.

Для отдельных установок с резко переменным характером нагрузки тот же ГОСТ без ограничения частоты допускает колебание напряжения ΔU до 1,5%. Не ограничиваются колебания напряжения у светильников местного освещения, если они вызваны пуском или остановкой двигателя данного механизма.

5.2. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ И ПИТАЮЩИЕ СЕТИ

Электрическая часть осветительной установки в общем случае может состоять из следующих звеньев (рис. 5-2): трансформатор 1, щит низкого напряжения подстанции 2, линии питающей сети 3, т. е. все линии от щита подстанции до групповых щитков, вводный щит здания 4, магистральный щиток 5, устанавливаемый в местах разветвления питающей сети, групповой щиток 6, на

котором установлены аппараты защиты или управления для групповых линий, линии групповой сети 7 от групповых щитков до источников света.

Те или иные из этих звеньев могут отсутствовать, и в простейшем случае групповые щитки могут питаться линиями, отходящими непосредственно от щита подстанции. Некоторые другие видоизменения общей схемы рассматриваются в дальнейшем.

В большей части случаев осветительная нагрузка на промышленных предприятиях, а также в некоторых общественных зданиях составляет относительно небольшую часть всей электрической нагрузки и вопрос ее питания решается в комплексе других вопросов электроснабжения.

Важным и отчасти спорным является вопрос выбора между питанием освещения от отдельных трансформаторов или от трансформаторов, совмещенных с силовой нагрузкой. При общем напряжении для обеих групп потребителей, т. е. наиболее часто 380/220 В, в подавляющем большинстве случаев применяются совмещенные трансформаторы, причем экономичность этого решения подтверждена многократными расчетами. В качестве недостатка такого решения для промышленных предприятий указывают, что при работе объекта в 1—2 смены из-за небольшой осветительной нагрузки в ночное время приходится держать под

пряжением мощные трансформаторы и, главным образом, что совмещенное питание ведет к ускоренному перегоранию ламп из-за повышенного напряжения при снижении нагрузки на трансформаторы. Эти соображения не лишены оснований, но в отношении первого из них надо сказать, что сейчас значительная часть предприятий работает в три смены, что потери холостого хода трансформаторов незначительны, не оправдывают установку отдельных трансформаторов и что в определенных условиях могут быть устроены перемычки между щитами низкого напряжения соседних подстанций, чтобы иметь возможность в периоды спада нагрузки отключить часть трансформаторов.

Что касается второго соображения, то нетрудно убедиться, что переход к самостоятельным осветительным трансформаторам сказался бы на максимуме напряжения у ламп только в размере разницы между потерями напряжения в нагруженных осветительных трансформаторах и в малонагруженных совмещенных трансформаторах, т. е. уменьшил бы этот максимум всего на 1,5—2%.

Однако никонм образом нельзя считать, что самостоятельные осветительные трансформаторы запрещены вообще. Они оказываются необходимыми, если на-

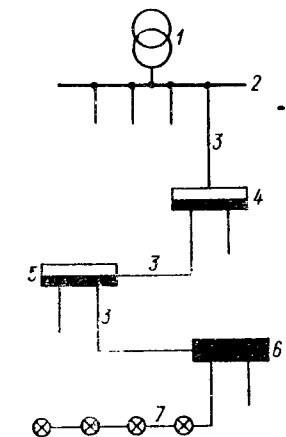


Рис. 5-2. Основные звенья сети освещения

пряжения силовых и осветительных сетей различны, т. е. тогда, когда либо по условиям электробезопасности для освещения недопустимо напряжение 380/220 В, либо для силовых сетей применяется более высокое напряжение. Они могут потребоваться, когда силовая нагрузка имеет ударный характер и при совмещенных трансформаторах колебания напряжения у ламп превосходили бы допустимое значение. В этих случаях, однако, часто удается выделить для питания освещения трансформаторы, хотя и совмещенные, но питающие спокойную силовую нагрузку. Наконец отдельные трансформаторы для освещения могут оказаться экономически оправданными при высокой плотности осветительной нагрузки.

Если, как это часто бывает, в здании или вблизи него имеется несколько трансформаторных подстанций, то для питания освещения может быть выделена их часть, определенная с учетом характера нагрузки и целесообразного радиуса действия каждой. Относительно последнего трудно дать конкретные указания, но надо учитывать, что если с увеличением числа используемых подстанций облегчается режим работы питающей сети, то одновременно усложняется управление освещением и возрастает стоимость распределительных устройств. В принципе критерием для оценки целесообразности использования для питания освещения того или иного числа подстанций частично может служить близость сечений питающей сети, определяемых по току нагрузки и по потере напряжения.

В производственных зданиях иногда устраиваются трансформаторные подстанции, работающие в блоке с определенным технологическим оборудованием и отключаемые при остановке последнего на ремонт или профилактический осмотр (когда, кстати, освещение особенно необходимо). Следует избегать питания освещения от таких подстанций, в крайнем же случае предусматривать перемычку между щитами низкого напряжения соседних подстанций, позволяющую при отключении одной из них питать освещение от другой.

Для небольших зданий, особенно при значительном удалении от подстанции, вполне целесообразно питание силовой и осветительной нагрузок общими линиями от подстанций, однако и в крупных зданиях не исключается присоединение щитков любого вида освещения к внутренней силовой сети. При этом должны быть соблюдены приведенные выше требования в отношении уровня и колебаний напряжения, а также доведена до минимума вероятность отключения освещения в связи с коммутационными операциями в силовой сети. Предпочтительно питание осветительных щитков ответвлениями от основных силовых магистралей в системе блок трансформатор—магистраль, но оно возможно и от обычных силовых линий или силовых распределительных пунктов. Если, однако, эти пункты не являются промежуточными звеньями питающей сети, а непосредственно обслуживают двигатели, то осветительные линии должны присоединяться к вводным зажимам этих пунктов.

За указанными исключениями, освещение должно питаться самостоятельными фидерами от щитов низкого напряжения транс-

форматорных подстанций. При решении вопроса о распределении всей осветительной нагрузки между фидерами учитывается ряд соображений. Так, следует избегать, с одной стороны, излишнего дробления, с другой — чрезмерного укрупнения фидеров. В первом случае увеличивается протяженность и стоимость сетей, во втором — чрезмерно возрастают сечения, если они выбираются по силе тока. Если предусматривается централизованное или даже дистанционное управление освещением, то часто бывает необходимо питать отдельными линиями верхнее освещение помещений с естественным светом и всю остальную осветительную нагрузку. Нередко на отдельные фидеры выделяются крупные цехи, а также отдельные здания или группы зданий, расположенные по одну сторону от источника питания.

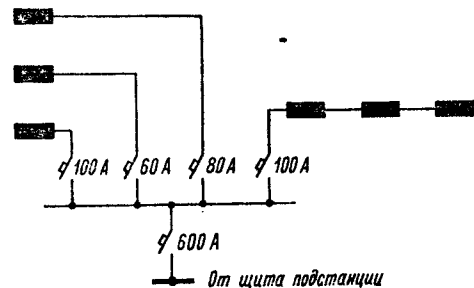


Рис. 5-3. Щит «размножения фидеров» и разновидности схем питания: слева — радиальная, справа — магистральная

С учетом сказанного, а также имея в виду необходимость выделения отдельных фидеров аварийного освещения, число осветительных фидеров на подстанции оказывается иногда значительным, между тем как щиты современных типовых подстанций имеют ограниченное число мощных автоматов. В этих случаях широко применяется и рекомендуется СН 357-77 [5] установка на подстанции или вблизи нее «щитов размножения», называемых также «магистральными щитками», которые питаются одной мощной линией от щита подстанции и от которых отходит необходимое число более мелких линий (рис. 5-3).

Схемы питания разделяются на радиальные и магистральные. Различия между этими схемами не столь значительны, чтобы их подробно рассматривать. В силу чисто компоновочных соображений чаще применяются магистральные схемы. В многоэтажных зданиях они представляют собой систему вертикальных линий — «стояков» — с подводкой питания к ним преимущественно по первому или цокольному этажу. В отдельных случаях групповые щитки расположены так, что оказывается целесообразным разветвить магистраль на несколько направлений. В местах разветвлений желательно (а при разветвлении более чем на два направления — следует) устанавливать магистральные щитки.

Нечего и говорить о том, какую роль играет бесперебойность работы освещения. Во всех почти случаях его отсутствие ведет к остановке производственного процесса, длительность которой часто превышает время отсутствия освещения, в некоторых же случаях даже кратковременное отсутствие освещения может слу-

жить причиной взрыва, пожара, несчастных случаев и т. д. Работники некоторых предприятий считают, что в многоплощадочных зданиях с местами, опасными для прохода людей, легче примириться с кратковременной остановкой оборудования, чем со столь же кратковременным отсутствием освещения.

Вопросы резервирования питания осветительных установок в целом решаются в комплексе других вопросов электроснабжения в проектах сетей и подстанций и здесь не рассматриваются. Специальные требования к резервированию питания рабочего освещения предъявляются лишь для некоторых объектов, как, например, зрелищные предприятия, музеи и т. д. Распространенные в данное время двухтрансформаторные подстанции с секционированными шинами щита и устройством автоматического включения резерва (АВР) уже обеспечивают возможность продолжения работы освещения при аварии одного из трансформаторов.

В основном резервирование освещения осуществляется в системе аварийного освещения, которое в зависимости от особенностей объекта должно обеспечивать или временное продолжение работы или безопасную эвакуацию людей из здания или участка территории (см. § 2-3).

Резервирование питания аварийного освещения может осуществляться на различных звеньях общей схемы, показанной на рис. 5-2, и на еще более высоких звеньях сети высокого напряжения. Чем выше звено, с которого осуществляется резервирование, тем больше надежность последнего.

Требования СНиП [1] к питанию аварийного освещения сводятся к следующему:

Светильники аварийного освещения для продолжения работы и для эвакуации людей из зданий без естественного освещения, а также светильники для продолжения работы в зданиях с естественным светом должны присоединяться к независимому источнику питания или переключаться на него автоматически при внезапном отключении рабочего освещения (при аварии). Светильники аварийного освещения для эвакуации из зданий с естественным освещением должны присоединяться к сети, независимой от сети рабочего освещения, начиная от щита подстанции или от ввода в здания (при наличии только одного ввода). Допускается питание светильников аварийного освещения от сети рабочего освещения при наличии автоматического переключения на источник питания аварийного освещения при внезапном отключении рабочего освещения (при аварии).

На рис. 5-4 представлены характерные схемы питания аварийного освещения, но прежде чем перейти к их характеристикам, отметим некоторые принципиальные моменты.

1. Нормативные требования к резервированию питания эвакуационного освещения минимальны и, по возможности, следует осуществлять большую степень резервирования, что зачастую возможно без существенных дополнительных затрат.

2. Во всех случаях, кроме зданий без естественного освещения, допускается питание аварийного освещения от силовых магистралей и от вводных зажимов силовых пунктов, при соблюдении общих условий, указанных ранее.

3. В прошлом была распространена «перекрестная» схема питания аварийного освещения (рис. 5-4, а), когда аварийное освеще-

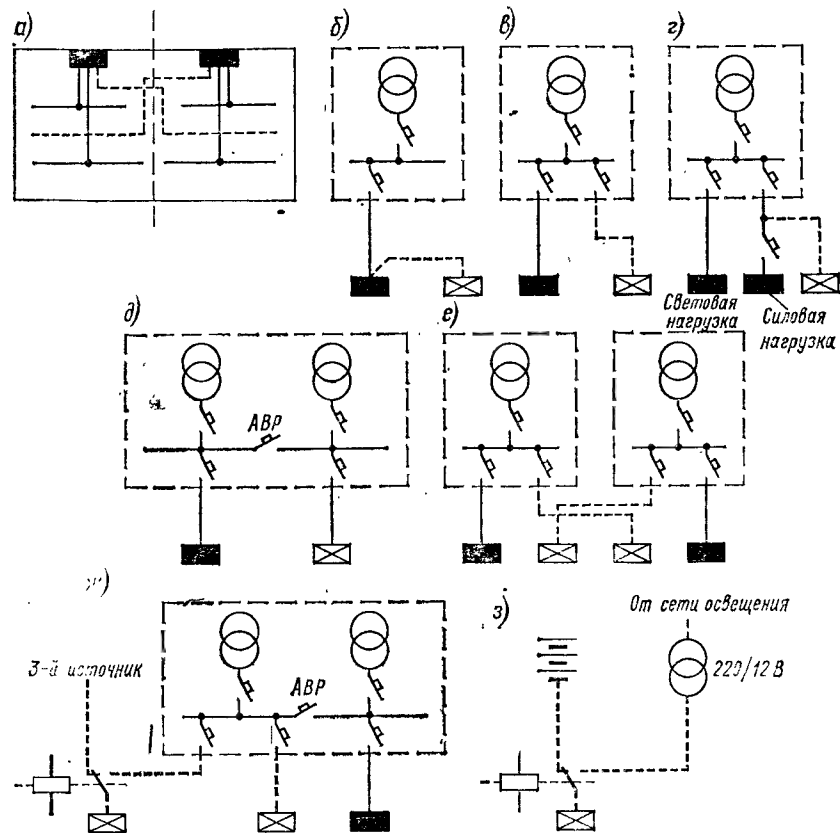


Рис. 5-4. Варианты резервирования питания освещения

шение одной части здания питалось от сети рабочего освещения другой части. В данное время такая схема запрещена СН 357-77.

Схема, представленная на рис. 5-4, б, дает наименьшую степень резервирования, допускаемую для эвакуационного освещения. Она применима для небольших, малоответственных зданий, где аварийное освещение в основном играет роль дежурного, для жилых домов и в случаях, когда вся нагрузка здания питается одним фидером от подстанции. Уже в крупных административно-бытовых корпусах эта схема заменяется схемами рис. 5-4, в или г, которые применяются при однотономных подстанциях

наиболее часто и являются достаточными для эвакуационного освещения.

Схема, приведенная на рис. 5-4, д, является в данное время, пожалуй, наиболее распространенной и допускает сохранение рабочего освещения при аварии одного из трансформаторов. Схема рис. 5-4, е еще более надежна в том отношении, что тот или иной вид освещения сохраняется даже при полном отключении одной из подстанций.

Если в схемах рис. 5-4, д и е один из трансформаторов или одна из подстанций имеет питание, которое, согласно Правилам устройства электроустановок, может быть признано независимым по отношению к другому трансформатору или другой подстанции, то эти схемы отвечают нормативным требованиям к аварийному освещению для продолжения работы.

На схеме рис. 5-4, ж показан случай, когда, помимо обычного аварийного освещения, устраивается освещение, переключаемое на третий независимый источник питания: удаленную подстанцию, питаемую от третьего независимого источника, аккумуляторную батарею и т. д. Переключающий аппарат с замыкающими и размыкающими контактами имеет катушку, питаемую от одного из основных источников, и переводит питание аварийного освещения на третий источник только в аварийных режимах.

На электростанциях и крупных подстанциях часто в качестве независимого источника питания используются аккумуляторные батареи, предназначенные для питания цепей оперативного тока.

При отсутствии в системе питания силовых нагрузок независимых источников и при необходимости иметь их для освещения могут использоваться дизель-генераторы (одним из недостатков которых является невозможность пуска под нагрузкой) или аккумуляторные батареи на 6—12 В. В последнем случае аварийное освещение либо нормально не функционирует и включается только при авариях, либо в нормальном режиме питается через понижительные трансформаторы (рис. 5-4, з). Перспективны, но пока у нас не выпускаются, светильники со встроенной аккумуляторной батареей.

Питание наружного освещения должно быть отделено от питания внутреннего освещения. Как правило, оно осуществляется отдельными фидерами от подстанций, причем для предприятий предусматриваются отдельные линии охранного освещения, освещения дорог и проездов, освещения складов и других мест работы на открытом воздухе. Допускается разделение питания наружного и внутреннего освещения начиная от вводного устройства в здании. Прилегающие к зданию открытые площадки, склады и технологические установки могут питаться от сети здания, но от отдельных щитков, или, по меньшей мере, групповых линий, управляемых совместно с остальным наружным освещением. Освещение погрузочно-разгрузочных рам при зданиях, участков, расположенных под навесами, и входов может питаться совместно с внутренним освещением, причем освещение входов предпочтительно присоединять к сети аварийного освещения, постоянно включенной во время действия рабочего освещения.

Независимо от задач оперативного управления освещением и защиты конкретных сечений проводников, ПУЭ предъявляют следующие требования.

В местах присоединения осветительной сети к источнику питания, т. е. щиту подстанции, а также к силовым магистралям или силовым пунктам, должны устанавливаться аппараты защиты и управления. Для группы линий одного вида освещения, отходящих от «щитов размножения» или магистральных щитков, допускается применение общих аппаратов управления. Если места присоединения к силовой сети неудобны для установки аппаратов защиты, то эти аппараты могут быть отнесены на расстояние до 30 м от этих мест. На вводах в здания от воздушных линий или от подстанций, расположенных вне здания, должны устанавливаться аппараты управления. На вводах должны быть установлены также аппараты защиты, кроме случаев питания здания отдельной линией, защищенной в ее начале, или наличия защиты в местах ответвления линий питающей сети от магистрали. Наконец установка аппаратов защиты нужна в начале стояков, обслуживающих не менее трех этажных щитков, кроме случая питания стояка отдельной линией с защитой в ее начале.

В известной степени спорной является необходимость установки аппаратов управления на вводах в групповые щитки.

Это представляет определенные эксплуатационные преимущества, позволяя при ремонтных работах отключить весь групповой щиток, но увеличивает расход аппаратов, и ПУЭ ограничивают установку таких аппаратов случаями, когда к магистральной линии присоединено не менее четырех, а в зданиях без естественного освещения — трех щитков.

Аппараты защиты и управления должны устанавливаться на всех проводах, кроме заземленных, нулевых. Исключением являются однофазные групповые линии, питающие светильники во взрывоопасных помещениях класса В-1 (см. § 7-2), для которых аппараты защиты необходимо устанавливать в цепи как фазового, так и группового проводов.

Хотя экономия электроэнергии вообще, и в частности расходуемой на цели освещения, была и остается важнейшей задачей, нормы рекомендуют при общем тарифе на силовую и осветительную энергию не устанавливать для освещения отдельных счетчиков. Эта рекомендация вызвана тем, что, как показывает опыт, часто экономия на освещении осуществляется путем уменьшения числа и мощности ламп, т. е. ведет к нарушению гарантированных нормами условий освещения. Установка счетчиков необходима, однако, в тех случаях, когда в здании имеются хозяйственно обособленные потребители (арендаторы площади), например пищеблока.

5-3. ГРУППОВЫЕ СЕТИ

Групповые щитки, от которых начинаются групповые осветительные сети, должны располагаться в помещениях, удобных для обслуживания, и, по возможности, с благоприятными усло-

виями среды. Нельзя размещать их в запираемых кабинетах, складах и т. п. помещениях. В многоэтажных зданиях их предпочтительно размещать на лестничных клетках или вблизи них, в зданиях с тяжелыми условиями среды — цеховых электропомещениях, в проходах или в других помещениях с относительно лучшими условиями среды.

Если управление освещением производится со щитков, то рекомендуется размещать щитки так, чтобы с места их установки были видны управляемые светильники, что, однако, не является обязательным.

ПУЭ [6] ограничивают предельный ток аппаратов, защищающих групповые линии, значением 25 А, а число светильников с лампами накаливания ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, обслуживаемых группой, — двадцатью на фазу. При питании группой газоразрядных ламп мощностью 125 Вт и более или ламп накаливания мощностью 500 Вт и более ток аппаратов защиты может быть увеличен до 63 А. Лампы мощностью 10 кВт и более должны питаться отдельными линиями каждая и защищаться соответственно их току.

Для линий, питающих люминесцентные лампы, а также световые карнизы, панели и т. п. допускается до 50 ламп на фазу; для линий, питающих многоламповые люстры, это число не ограничивается.

Приведенные требования о токах аппаратов защиты являются обязательными, а о числе светильников и ламп, — питаемых группой, — рекомендуемыми, хотя, конечно, они не могут быть строго обоснованы. Эти требования имеют целью ограничить объем возможных аварий и облегчить нахождение их места и причин. Кроме того, чем меньше группы, тем больше вероятность того, что нагрузка равномерно распределится между всеми тремя фазами, а нормы требуют, чтобы разница в нагрузке фаз на отдельных щитках не превышала 30%, а в начале питающих линий — 10%.

Знаменательно, что рост норм освещенности, и соответственно осветительных нагрузок, отразился и на нормативных ограничениях тока групп. Так, в свое время в нормах IX Всесоюзного Электротехнического съезда был обусловлен ток 6 А.

В число светильников, обслуживаемых групповыми линиями, входят и контактные разъемные соединения. С тех пор как эти соединения стали выпускаться без встроенных предохранителей, возник вопрос о правомерности их подключения к группам, питающим светильники, так как в питаемых через них приемниках наиболее вероятны перегрузки и короткие замыкания. В данное время нормы не делают ограничений в этом вопросе, но при большом числе разъемных соединений рекомендуют питать их отдельными группами от щитков, если это не связано с большой дополнительной затратой проводов. В целях взаимного резервирования общего и местного освещения не исключено питание разъемных соединений отдельными группами от щитков аварийного освещения.

При распределении светильников между группами следует руководствоваться указанными предельными данными (избегая, однако, излишнего дробления групп) и топографическими признаками, т. е. относительным расположением помещений. Предпочтительно выделение на отдельные группы освещения проходов и лестничных клеток.

Групповые линии могут быть одно-, двух- или трехфазными. Последние обязательны, когда чередование фаз в линии используется для уменьшения пульсации освещенности, в частности при использовании ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ. Трехфазные группы могут принять втрое большую нагрузку и обслужить в три раза больше светильников, чем однофазные. Они дают существенное сокращение как протяженности сети (четыре провода трехфазной группы заменяют 6 проводов трех однофазных групп), так и массы проводникового металла: при выборе сечений проводов, по потере напряжения теоретическая масса последнего в трехфазной группе в 3,4 раза меньше, чем в однофазной.

Предпосылкой для применения трехфазных (реже — двухфазных) групп является большая нагрузка и длина линий при един-

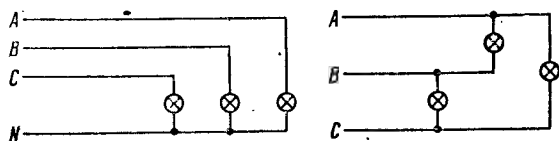


Рис. 5-5. Включение ламп по схемам звезды (а) и треугольника (б)

стве технологического процесса на их протяжении, позволяющем включать и выключать освещение крупными частями.

В связи с тем, что в осветительных сетях, в отличие от силовых сетей, к трехфазным линиям присоединяются, как правило, однофазные потребители, полезно рассмотреть некоторые ненормальные режимы, которые могут возникнуть в таких линиях.

Обычно лампы включаются в сеть трехфазного тока по схеме звезды (рис. 5-5, а), реже, например, когда от сети 380/220 В питаются лампы 380 В, — по схеме треугольника (рис. 5-5, б). При включении по схеме звезды все три фазы работают в известной степени независимо друг от друга и могут выключаться по отдельности. При равенстве нагрузок всех фаз в нулевом проводе тока нет (если не учитывать токов высших гармоник в сетях с газоразрядными лампами) и даже в случае его обрыва работа линии не нарушится.

При отключении одной из фаз по нулевому проводу протекает ток, равный и обратный геометрической сумме токов двух фаз, т. е. при равенстве последних тот же численно ток, что в каждом из фазовых проводов. При отключении двух фаз (а также в однофазных линиях) ток в нулевом проводе равен и обратен току фазы.

При неравномерной нагрузке фаз в нулевом проводе протекает уравнивающий ток, легко находимый построением или вычислением, за счет чего искажается схема соединения в звезду напряжений и лампы разных фаз получают несколько различные напряжения (см. гл. 6). В этом случае при обрыве нулевого провода резко нарушается распределение напряжений между нагрузками различных фаз. Рассмотрим, например, простейший случай, когда нулевой провод оборван, фаза А отключена или не имеет нагрузки, в фазу В включена одна лампа и в фазу С — две такие же лампы.

Лампы этих фаз окажутся последовательно включенными на линейное напряжение 380 В, которое распределится пропорционально сопротивлениям ламп. Если (что возможно только для расчета иллюстративного характера) пренебречь зависимостью сопротивления нитей ламп от температуры, то можно видеть, что на лампе фазы В напряжение составит 253 В, а на лампе фазы С — 127 В. Так как практически нагрузка фаз никогда не бывает строго равномерной, то ясно,

какое значение имеет для осветительных сетей целостность нулевого провода (помимо даже вопросов зануления).

В схеме соединения в треугольник при отключении фазы А для ламп плеча В—С сохраняется нормальный режим, лампы же плеч А—В и А—С окажутся последовательно включенными на напряжение 380 В, которое распределится между ними в зависимости от соотношения мощностей. Отключив две фазы, мы гасим все лампы, но установка остается под напряжением. Следовательно, раздельное отключение фаз в трехфазных линиях с нагрузками, включенными по схеме треугольника, является недопустимым.

На рис. 5-6 представлено три варианта распределения ламп между фазами в трехфазной группе. Верхний вариант оптимален с точки зрения потерь напряжения в линии, так как «центры тяжести» нагрузок всех фаз в этом случае совпадают, но этот вариант не является лучшим в отношении ослабления пульсаций

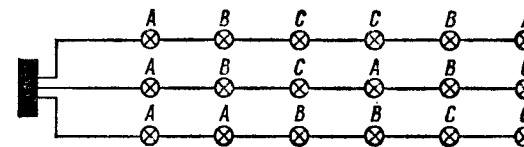


Рис. 5-6. Распределение ламп по фазам

освещенности и, кроме того, при нем в случае отключения одной-двух фаз создается случайное распределение освещенности вдоль линии.

Средний вариант применяется наиболее часто. Он лучше, чем остальные, обеспечивает снижение пульсаций и при отключении части фаз дает относительно равномерное распределение освещенности.

Нижний вариант применяется редко, лишь в тех случаях, когда освещение цеха должно включаться по участкам, и, строго говоря, представляет собой не трехфазную группу, а три однофазных с общим нулевым проводом. В связи с этим отмечается, что если несколько однофазных групп прокладываются по общей трассе, то почти всегда целесообразно совмещение их нулевых проводов, причем эти группы (их может быть и больше трех) должны принадлежать разным фазам сети. При этом сечение объединенного нулевого провода должно проверяться на суммарный ток групп, подключенных к той из фаз, для которой этот ток оказывается наибольшим. Такой ток будет протекать по нулевому проводу при отключении светильников, питаемых двумя другими фазами.

Трассировка линий групповой сети подчинена целому ряду нормативных требований и практических рекомендаций, из которых важнейшие следующие.

Линии должны прокладываться по возможно более коротким трассам, при открытой проводке — параллельно стенам помещения, при скрытой, если это возможно, — по кратчайшему направлению. Желательно совмещать трассы линий, идущих в одном направлении, даже если это несколько удлиняет протяженность

линий. При возможности следует прокладывать линии по стенам, а не по потолкам, линии же, открыто проложенные по потолку, необходимо прокладывать перпендикулярно стене с окнами. Пример трассировки линий при скрытой и открытой прокладке показан на рис. 5-7. Желательно ограничивать число проходов сквозь стены, число ответвительных коробок и число обходов строительных элементов. В помещениях с фермами наиболее целесообразно прокладывать линии групповой сети поперек ферм, в виде перекидок между ними. В запираемых пожароопасных складах запрещается транзитная прокладка линий, не относящихся к приемникам склада.

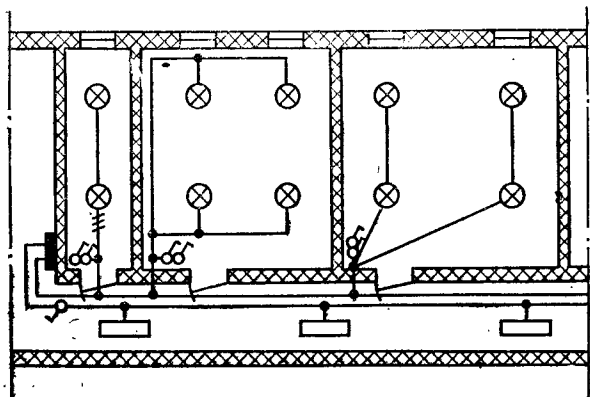


Рис. 5-7. Трассировка линий групповой сети

В групповой сети аппараты защиты, как правило, сосредотачиваются на групповых щитках и должны устанавливаться на всех незаземленных проводах, а также на нулевых проводах однофазных групп, обслуживающих взрывоопасные помещения класса В-1 (см. § 7-2).

Для взрывоопасных помещений класса В-1 двух- и трехфазные групповые линии применяться не должны, так как в нулевых проводах таких линий установка аппаратов защиты недопустима.

Ответственной задачей является решение вопросов управления освещением. Оно должно быть наиболее удобным для персонала, требовать минимум времени на коммутационные операции и вместе с тем обеспечивать возможность пользования освещением там и тогда, где и когда это необходимо по характеру использования помещения.

В последнее время в цехах сколько-нибудь большой площади почти исключительно предусматривается управление освещением аппаратами, установленными на щитках (за исключением рассматриваемых ниже случаев централизованного управления); в небольших помещениях неизбежно сохраняются местные выключатели. Во всех случаях учитываются условия естественного освеще-

щения (отдельно управляются ряды светильников, расположенные параллельно линиям окон или фонарей) и характер производства, т. е. возможность выполнения работ только на какой-либо определенной части площади.

В помещениях, не имеющих аварийного освещения, желательно, начиная уже от установки в помещении двух светильников, разбивать светильники не менее чем на два выключения, что дает возможность обслуживать отключенные светильники при свете остающихся включенными. Такая рекомендация особенно важна для помещений без естественного освещения.

С точки зрения организации управления освещением характерен случай, часто встречающийся, например, в металлургической и химической промышленности, когда технологический процесс полностью механизирован и рабочие (причем разных специальностей: технологи, механики, сантехники, электрики) периодически обходят помещения, расположенные на разных отметках или проходят вдоль тракта подачи материалов.

Казалось бы, в подобных случаях элементарное правило «уходя, гасите свет» определяет установку выключателей у входа в каждое помещение, однако практика опровергает такое решение и рекомендует в таких случаях управлять освещением со щитков: местное управление очень неудобно для «обходчиков».

Если в указанных помещениях, а также в помещениях, являющихся нормально проходами (к ним можно отнести, в частности, и многие галереи транспортеров), освещение остается включенным во все темное время суток, но в протяженных помещениях, эпизодически посещаемых специальным персоналом (кабельные и водопроводные туннели, галереи шинопроводов и т. п.), освещение должно включаться только при входе в них людей, а при наличии нескольких входов — управляться независимо от каждого входа по так называемым коридорным схемам (см. § 5-4).

В производственных и общественных зданиях должна предусматриваться возможность раздельного управления освещением помещений с естественным освещением и без него.

С каждым годом все в большем объеме применяется централизованное дистанционное управление освещением. Это соответствует общим тенденциям развития производства: укрупнению цехов, механизации работ, стремлению освободить рабочих от вспомогательных операций и т. д., и если прежде шла речь чуть ли не о потолочных выключателях, позволяющих рабочему включить светильник, подвешенный над его станком, то сейчас диспетчер или даже автоматическое устройство в определенный момент времени включает сотни и тысячи светильников.

Предпосылкой для дистанционного управления освещением являются большие размеры здания или группы зданий, особенно если питание осветительной установки осуществляется от нескольких подстанций. При устройстве дистанционного управления необходимо тщательно учитывать особенности как производства (с точки зрения одновременности потребности в освещении различных участков), так и условий естественного освещения

помещений. При этом осветительные сети приходится разделять на две части, одна из которых обслуживает верхнее освещение помещений, имеющих естественное освещение, вторая — все остальное освещение. Эта вторая часть если и управляется дистанционно, то только для обеспечения полного отключения сети, например в праздничные дни, оперативное же управление освещением производится местными выключателями. Наоборот, для первой части дистанционное управление является оперативным, но на щитках сохраняются аппараты управления для возможности

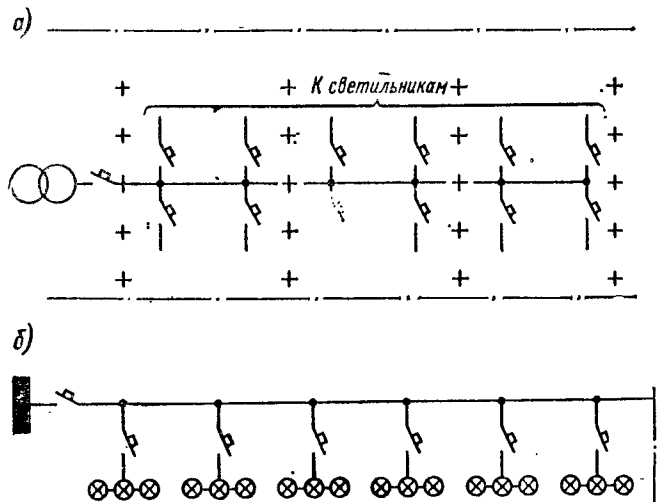


Рис. 5-8. Схемы поперечной (а) и распределительной (б) магистрали

отключения отдельных групп на период обслуживания светильников или ремонта.

При дистанционном управлении включение и выключение освещения производится либо вручную, диспетчером, либо автоматически, с использованием программного реле времени или фотоавтоматических устройств, реагирующих на уровень естественной освещенности.

В последнее время получили распространение две прогрессивные схемы питания осветительных установок крупных цехов (рис. 5-8). В схеме поперечной магистрали (рис. 5-8, а) применяемой в многопролетных зданиях, групповые щитки как таковые отсутствуют, или можно сказать, что их шины как бы продолжены и растянуты поперек всех пролетов. К этим шинам через аппараты защиты и управления присоединяются обычные групповые сети, идущие вдоль пролетов. Если это целесообразно по условиям производства, вся поперечная магистраль может управляться как одно целое и тогда групповые аппараты имеют только эксплуатационное назначение; если эти аппараты необходимы для оперативного управления, они должны иметь возможность управляться с отметки пола.

В схеме распределительной магистрали (рис. 5-8, б), пригодной для цехов большой длины с единством технологического процесса по всей площади, све-

тильники присоединяются к продольной магистрали без ограничения числа и мощности. Для обеспечения локализации аварий и возможности обслуживания светильников без отключения всей магистрали аппараты защиты и управления (например, автоматические выключатели АП-50) устанавливаются на ответвлениях от магистрали к светильникам, а, чтобы уменьшить число таких аппаратов, светильники размещаются группами из 2—3 шт. В высоких цехах это не ведет к увеличению числа светильников, так как по условиям создания нормированной освещенности последние обычно в продольном направлении приходится устанавливать на расстояниях, значительно меньших наивыгоднейшего.

С распространением газоразрядных ламп возник вопрос о компенсации реактивной мощности в осветительных сетях. Для люминесцентных ламп он решается установкой компенсирующих конденсаторов в комплекте пускорегулирующих аппаратов (применение некомпенсированных ПРА запрещено ПУЭ). Для ламп других типов в данное время в установках внутреннего освещения применяется обычно групповая компенсация путем установки конденсаторных батарей у щитков, на отдельных группах. Установка батарей, общих для всего щитка или питающей линии, не применяется потому, что в этом случае при неполном включении освещения сеть была бы загружена емкостным током.

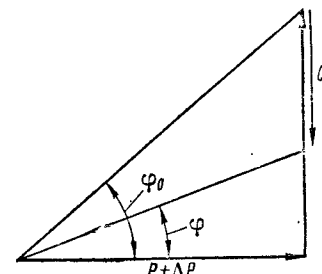


Рис. 5-9. Расчет компенсации реактивной мощности

Групповая компенсация позволяет уменьшить сечения линий питающей сети, если они выбираются по токовой нагрузке, и повысить «емкость групп». Так, при уставке аппарата защиты 50 А и при коэффициенте мощности комплекта лампы — ПРА, равном 0,5, к трехфазной группе может быть присоединено не более 12 ламп ДРЛ-1000, а при повышении коэффициента мощности до 0,92 — уже 24 лампы.

Если комплект лампы—ПРА потребляет ток, отстающий по фазе от напряжения на угол φ_0 , а мы хотим уменьшить этот угол до значения φ , то, как следует из рис. 5-9, потребуется реактивная мощность конденсаторов

$$Q = (P + \Delta P) (\operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \varphi),$$

где P — мощность ламп и ΔP — потеря мощности в ПРА. Приняв исходный коэффициент мощности $\cos \varphi_0 = 0,5$ и желаемый $\cos \varphi = 0,92$ (в сетях с газоразрядными лампами из-за искажения кривых тока и напряжения значение $\cos \varphi = 1$ невозможно) и считая $\Delta P = 0,1P$, получим $Q \approx 1,45P$.

С учетом всех экономических факторов (см. § 8-4) установка в осветительной сети конденсаторов часто не окупает себя и в практике вопрос о необходимости компенсации решается в зависимости от ситуации с реактивной мощностью в системе электропитания объекта.

Если, как это часто практикуется, на аварийное освещение выделяются целые ряды светильников, одновременно участвующих в рабочем освещении, то управление этим освещением ничем по существу не отличается от управления рабочим освещением. В остальных случаях, т. е. когда для аварийного освещения выделяются отдельные светильники, они должны либо автоматически включаться при исчезновении напряжения в сети рабочего освещения, либо управляться с возможной степенью централизации, чтобы его не забывали включать в отдельных помещениях.

Существенно сделать некоторые уточнения в отношении аппаратов управления, будь то автоматы на щитках или местные выключатели.

В сетях 380/220 В и 660/380 В, имеющих заземленную нейтраль, должны отключаться все фазовые провода, т. е. в двухпроводных линиях и ответвлениях, состоящих из фазового и нулевого проводников, должны применяться однополюсные аппараты (кроме помещений класса В-1, где при однофазных группах необходимы двухполюсные аппараты). В трехфазных группах вопрос не может быть решен однозначно. Если эти группы питают только однофазные приемники, в каждый из которых вводится фазовый и нулевой провода, то фазовые провода могут выключаться как совместно, т. е. трехполюсными аппаратами, так и раздельно. Практика предпочитает последнее решение как более гибкое, облегчающее нахождение мест аварий и позволяющее отключать для обслуживания только часть светильников. Если, однако, к группам подключены трехфазные компенсирующие конденсаторы или светильники с двух- и трехфазными ПРА, а также в случаях, когда светильники включаются на линейное напряжение, т. е. по схеме соединения в треугольник (например, лампы ДРЛ-2000 в сети 380/220 В), то одновременное отключение всех фаз обязательно. Если в светильники вводятся провода нескольких фаз с целью разбить лампы на несколько включений, то в помещениях без повышенной опасности эти провода могут выключаться раздельно. В двухпроводных сетях постоянного тока, применяемых для аварийного освещения, однополюсное выключение также допустимо только в помещениях без повышенной опасности.

Местное освещение станков, имеющих индивидуальный электропривод, как правило, питается через индивидуальные трансформаторы, присоединенные к силовой сети станка, остальное же местное освещение питается через групповые трансформаторы с вторичным напряжением 12—24—36 В. Контактные разъемные соединения переносного освещения могут, в принципе, питаться от сети 220 В с включением ручных ламп через переносные трансформаторы, но поскольку в этом случае не исключается использование ручных ламп на напряжение 220 В, почти исключительно применяется питание этих разъемных соединений от групповых трансформаторов 12—36 В. Трансформаторы должны иметь электрически раздельные обмотки (применение автотрансформаторов

запрещено) и иметь аппараты защиты со стороны как высшего, так и низшего напряжения. Защита со стороны высшего напряжения не обязательна, если трансформаторы, в количестве не более трех, питаются самостоятельными группами от щитков.

Местное освещение во всех случаях управляется индивидуальными выключателями, взамен которых при напряжении не более 42 В могут быть использованы контактные разъемные соединения через которые включаются светильники.

В некоторых случаях для местного освещения, а также для общего освещения, требующего напряжения не выше 42 В, применяются трехфазные сети с включением ламп по схеме соединения в треугольник. Эти сети должны управляться трехполюсными аппаратами, но на двухпроводных ответвлениях от них выключатели могут устанавливаться на одном (незаземленном) проводе.

5-4. СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Выше уже были рассмотрены основные принципы организации управления освещением. Остановимся на некоторых применяемых для этого схемах.

В протяженных помещениях, не являющихся постоянными проходами, возникает необходимость включения освещения с одного или нескольких входов, причем возможность управления от каждого данного входа не должна зависеть от положения аппаратов управления у других входов.

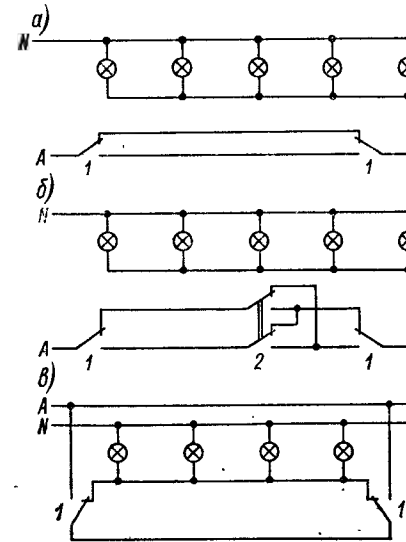


Рис. 5-10. Коридорные схемы управления: а — обычная для двух входов; б — для более чем двух входов; в — с транзитной фазой

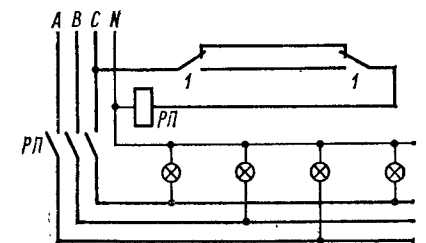


Рис. 5-11. Схема управления с магнитным пускателем освещением галерей

Такая «коридорная» схема для двух входов представлена на рис. 5-10, а. Аппаратами управления служат однополюсные переключатели 1 на два положения (без нейтрального положения), и нетрудно убедиться, что в каком бы положении ни находился один из них, вторым можно включать и выключать линию. При

наличии более двух входов (рис. 5-10, б), у крайних входов остаются такие же аппараты 1, а у каждого из промежуточных входов должны быть установлены двухполюсные переключатели 2 на два положения (без нейтральных положений).

Разновидностью коридорной схемы является схема с транзитной фазой (рис. 5-10, в), пригодная только при двух входах. Она отличается тем, что фазный провод на конце линии всегда остается под напряжением и может быть использован для питания какой-

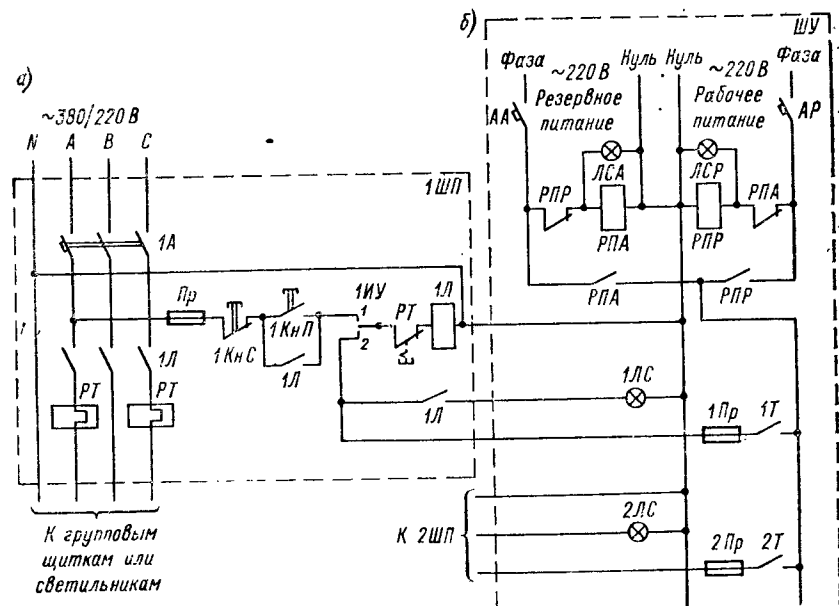


Рис. 5-12. Схема дистанционного управления освещением на переменном токе без промежуточных реле

либо нагрузки, находящейся с этой стороны. Коридорные схемы практически вдвое увеличивают расход проводов, которые в некоторых случаях могут иметь большое сечение, так как путь тока от начала линий до ламп возрастает (особенно в схеме с транзитной фазой), что приходится учитывать при расчете линий по потере напряжения (§ 6-3). Поэтому в протяженных, с большой нагрузкой линиях применяется схема, представленная на рис. 5-11. Непосредственное управление нагрузкой производится в этом случае магнитным пускателем или контактором РП, катушка же последнего управляется по коридорной схеме переключателями 1.

На рис. 5-12 представлена простейшая схема дистанционного управления освещением на том же напряжении, которым питаются лампы.

В этой схеме отдельно рассмотрим две части (а и б), каждая из которых может применяться как самостоятельная схема.

Автомат 1А служит для защиты линии, питающей освещение. Избиратель управления 1ИУ является однополюсным переключателем на два положения (с нейтральным положением). При нахождении его в положении 1 схема рис. 5-12, б отключена и мы имеем обычную схему дистанционного управления пускателем 1Л, широко применяемую в силовых сетях, но могущую быть использованной также в сетях освещения. При нажатии кнопки «Пуск» 1КнП катушка пускателя 1Л обтекается током и пускатель включается, одновременно замыкая свой вспомогательный контакт 1Л, через который и проходит ток при отпуске 1КнП. При нажатии кнопки «Стоп» 1КнС цепь катушки 1Л размыкается и пускатель выключается. Он выключается также при размыкании контактов теплового реле РТ в случае перегрузки или при исчезновении напряжения в сети питания.

Последнее обстоятельство в силовых сетях исключает нежелательный самозапуск двигателя при восстановлении питания до повторного нажатия кнопки «Пуск». В сетях освещения включение ламп при восстановлении питания без участия человека отнюдь не противопоказано, и если эта часть схемы отдельно используется для освещения, то обе кнопки заменяются одним обычным выключателем, а вспомогательный контакт 1Л не используется. В таком виде схема может быть применена для управления одним пускателем и с небольших расстояний. В представленном на рисунке виде схема соответствует оборудованию типовых шкафов 1ШП, выпускаемых промышленностью.

Во многих случаях, например для наружного освещения, управление производится с более или менее значительных расстояний и со шкафа управления ШУ необходимо управлять несколькими, иногда многими пускателями, получая при этом на пункте управления сигнал об исполнении. В этом случае к схеме рис. 5-12, а добавляется схема рис. 5-12, б. Верхняя ее часть является схемой автоматического ввода резервного питания при прекращении основного питания. В ранее рассмотренном случае силовые контакты пускателя и его катушка питаются от общей линии и никакое резервирование питания катушки не поможет, если в этой линии нет напряжения. При сосредоточении управления на ШУ должен быть исключен случай, когда силовые цепи пускателей под напряжением, а питание катушек прекращается, для чего и необходимо резервирование.

Верхняя часть схемы рис. 5-12, б может рассматриваться как частный, но характерный случай переключения питания на резервный источник, с чем приходится сталкиваться, например, при устройстве аварийного освещения.

Пусть при выключенном автомате АА включается автомат АР. Размыкающие контакты реле РПА замкнуты, катушка реле РПР, обтекаемая током, включит свой контакт РПР, в сеть будет по-

дано питание от основного источника и сигнальная лампа *ЛСР* будет гореть. В то же время размыкающий контакт *РПР* будет разомкнут, в силу чего катушка *РПА* и лампа *ЛСА* будут отключены. При включении автомата *АА* ничего не изменится, так как контакт *РПР* останется разомкнутым.

Если теперь в основной сети исчезнет напряжение, то катушка *РПР* обесточится, его правый, по схеме, контакт разомкнется, а левый — замкнется, подавая ток в катушку *РПА*. Левый контакт последнего замкнется, правый — разомкнется, и питание будет подано от резервного источника; загорится сигнальная лампа *ЛСА*.

Применительно к питанию аварийного освещения эта схема пригодна в тех случаях, когда напряжения сетей рабочего и аварийного освещения одинаковы и когда последнее должно функционировать также в нормальном режиме.

Промышленность выпускает блоки и панели питания аварийного освещения и для разных других случаев, например, когда это освещение нормально не включено и включается только при отсутствии напряжения в сети рабочего освещения.

Обратимся теперь к схеме в целом. При положении 1 выключателя *1ИУ* осуществляется, как уже сказано, местное управление освещением, необходимое, например, для опробования схемы; среднее, нулевое положение соответствует запрету управления, положение 2 — дистанционному управлению. В этом случае включение выключателя *1Т* подает питание на катушку *1Л*, а вспомогательный контакт *1Л*, включаясь, зажигает лампу *1ЛС*. Число цепей, обслуживаемых одним *ШУ*, не ограничено. Каждая цепь управления состоит из трех проводов или жил кабеля. Предохранители *Пр* и *1Пр* служат для защиты цепей управления.

Схема применяется для управления как внутренним, так и наружным освещением, однако в последнем случае расстояние между *ШУ* и *1ШП* может быть столь велико, что в цепях управления будет трудно обеспечить допустимую потерю напряжения. В таких случаях могут использоваться схемы с промежуточным маломощным реле. Дистанционно производится управление этим последним реле, а уже его контакты, замыкаясь, подают питание в катушку основного аппарата.

Наиболее характерной схемой управления наружным освещением с промежуточными реле является представленная на рис. 5-13 схема управления с использованием свободных жил («пар») телефонных кабелей, что позволяет избежать прокладки специальных цепей управления. Телефонные кабели могут использоваться только в цепях постоянного тока малого напряжения, в связи с чем в схеме появляется выпрямитель *ВС*. Питание последнего осуществляется так же, как и в схеме рис. 5-12.

Включением автоматического выключателя *АВ* напряжение подается на катушку *1РП*, контакт которого при нахождении переключателя *1ИУ* в положении 2 замыкает цепь катушки *1Л*.

Срабатывая, пускатель замыкает свой вспомогательный контакт, включая этим сигнальную лампу *1ЛС*.

Общепринятое схемное изображение не отвечает истинному расположению аппаратов, и, естественно, реле *1РП* и вспомогательный контакт *1Л* находятся в составе *1ШП*. Для каждой отдельно управляемой цепи *1ШП* и *ШУ* должны быть связаны двумя телефонными парами, т. е. четырьмя проводами: одна пара соеди-

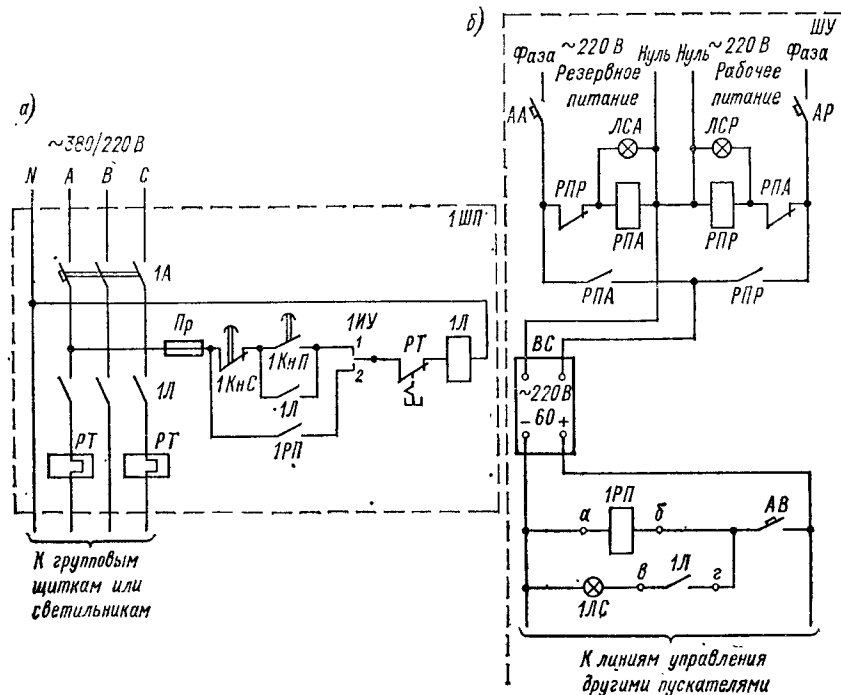


Рис. 5-13. Схема управления освещением на постоянном токе с промежуточными реле

няет точки *а* и *б* с катушкой *1РП*, другая — точки *в* и *г* со вспомогательным контактом *1Л*.

Наряду с описанными схемами применяется и ряд других схем, в частности схемы телемеханического управления.

Для протяженных линий наружного освещения иногда оказывается целесообразным применение «каскадных» схем управления (рис. 5-14).

С центрального пульта управления *ПУ* включается блок управления *1БУ* первой секции линии; от конца этой секции подается питание к блоку управления второй секции *2БУ* и т. д. Таким образом каждая секция, включаясь, вызывает включение следующей секции, протяженность же цепей управления существенно сокращается.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

6-1. ВЫПОЛНЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Электрические сети вообще, и особенно осветительные сети, являются наиболее распространенным видом инженерных коммуникаций, так как они прокладываются буквально во всех помещениях, где только могут находиться люди. В силу своего характера и назначения они должны отвечать целому ряду требований, а именно:

- 1) обеспечивать бесперебойность и надежность питания осветительных установок в любых конкретных условиях среды;
- 2) требовать для своего выполнения наименьшей затраты средств и дефицитных материалов, в первую очередь меди и стальных труб;
- 3) обеспечивать безопасность в отношении пожара, взрыва и поражения электрическим током;
- 4) допускать осуществление сетей индустриальными методами, при которых максимум подготовительных и заготовочных работ может быть выполнен в условиях заводов или мастерских электро-монтажных заготовок (МЭЗ);
- 5) по возможности допускать замену поврежденных или изношенных проводов в процессе эксплуатации;
- 6) по возможности быть наглядными, доступными для обслуживания и не портящими внешнего вида помещений;
- 7) обладать достаточной прочностью и устойчивостью к возможным механическим воздействиям.

Высокие и разносторонние требования, предъявляемые к осветительным сетям, являются причиной того, что их выполнение во всех деталях регламентируется нормативными документами, в частности ПУЭ, СНиП и СН. Полное изложение этих требований, помимо первоисточников, можно найти в различных справочниках, здесь же ставится задача рассмотреть в общем виде принципиальную сторону вопроса.

В качестве проводниковых материалов для выполнения сетей исключительно, или почти исключительно, применяются алюминий и медь. Преимуществами меди как проводника является меньшее, по сравнению с алюминием, удельное сопротивление, большая механическая прочность и лучшая устойчивость к воздействиям среды. Особое значение имеет тот факт, что в линиях с медными проводами легче осуществляются и более надежно работают контактные соединения. Однако необходимость всемерной эко-

Во всех рассмотренных случаях включение органа управления предусматривается вручную. Это не только возлагает на обслуживающий персонал дополнительные операции, но, как принято считать, может быть причиной перерасхода электроэнергии из-за несвоевременного выключения освещения (хотя не менее вероятно его слишком позднее включение). В связи с этим находят широкое применение автоматическое управление освещением с помощью программного устройства или фотореле, основанного на использовании фотоэлементов или фоторезисторов.

Соответствующие аппараты могут быть встроены в любую из схем, причем ручное управление сохраняется в качестве дублирующего.

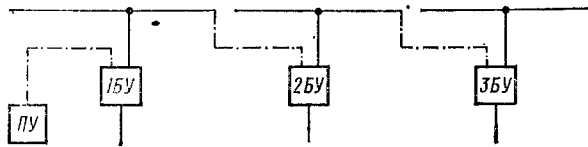


Рис. 5-14. «Каскадная» схема управления наружным освещением

Включение и выключение освещения производится либо в заданный момент времени, либо при определенном уровне естественной освещенности.

Как отмечено в § 5-3, при устройстве таких способов управления должно обращать особое внимание на одинаковость условий естественного освещения в пределах каждой, отдельно управляемой, части осветительной установки. В связи с этим надо сказать, что если для наружного освещения целесообразность автоматического управления можно считать бесспорной, то для внутреннего освещения оно преимущественно ограничивается крупными цехами с одинаковыми условиями естественного освещения по всей их площади, так как при устройстве такого управления для зданий в целом или же отдельные помещения окажутся в неравных условиях, или же потребуются усложнить управление, разделяя его на отдельные части.

Из двух способов автоматического управления программное управление пока признается более надежным, хотя фотоавтоматическое управление является более гибким в том отношении, что учитывает не только время, но и состояние погоды.

Вместе с тем при фотоавтоматике хотя и удается отстроиться, например, от выключения освещения при кратковременных, случайных, изменениях естественной освещенности (например, при вспышке молнии), но в периоды сумерек или рассвета не исключено срабатывание реле в зависимости от состояния облачного покрова.

Вопросам управления освещением посвящена книга [24].

номии меди обуславливает преимущественное применение проводов и кабелей с алюминиевыми жилами.

Медные проводники разрешены или обязательны для применения в условиях сред, агрессивных по отношению к алюминию, во взрывоопасных помещениях классов В-I и В-Ia (см. § 7-2), для прокладки по основаниям, подверженным вибрации, для некоторых видов проводок на чердаках, в основных помещениях зрелищных предприятий, для присоединения передвижных и переносных приемников. Медные проводники требуются также для зарядки светильников, в тех случаях, сейчас очень редких, когда вводные проводники непосредственно присоединяются к контактам ламповых патронов, а не к клеммным колодкам или штепсельным разъемам, входящим в конструкцию светильников.

Электропроводники в зданиях разделяются по своему выполнению на открытые и скрытые. Скрытые проводки эстетичнее, менее подвержены запылению и облегчают поддержание помещения в чистоте. Одним из их важных достоинств является возможность выполнения электромонтажных работ до окончания отделочных работ, что позволяет сократить сроки строительства. Однако скрытые проводки имеют и ряд существенных недостатков: в некоторых их модификациях не может быть обеспечена замена проводов в процессе эксплуатации и во всех почти случаях исключается возможность внесения дополнений и изменений в уже выполненную проводку.

В данное время для общественных, административных и жилых зданий принимается почти исключительно скрытая проводка, в помещениях же с повышенными требованиями к чистоте, в частности в лечебных заведениях, эту проводку следует считать обязательной. Из числа помещений рассматриваемых зданий открытая проводка может применяться в неотапливаемых подвалах, на чердаках, в сырых и особосырых вспомогательных помещениях и т. п. Открытая проводка нередко бывает неизбежной в зданиях, сооружаемых из деревянных конструкций.

В производственных зданиях, не говоря уже о помещениях с подшивными или подвесными потолками, преобладающее применение имеет открытая проводка, хотя в чистых цехах вполне уместна и скрытая проводка.

В осветительных сетях применяются провода и кабели разнообразных марок. Ниже перечисляются наиболее распространенные или характерные марки кабельных изделий. Марки указаны для проводников с алюминиевыми жилами, аналогичные изделия с медными жилами отличаются в маркировке начальной буквы А:

АПР — одножильный провод с резиновой изоляцией в оплетке из пропитанной хлопчатобумажной пряжи. Ранее широко использовался для открытой проводки на изолирующих опорах. Сейчас имеет ограниченное применение в условиях среды, близких к нормальным, для прокладки на изоляторах поперек ферм, для проводки в изоляционных трубах, на тросах и в лотках.

АПВ — одножильный провод с поливинилхлоридной изоляцией. Проводка, выполненная этими проводами, устойчива к большинству химических воздействий. Провод имеет универсальное применение, так как может прокладываться в любых трубах, в лотках, открыто на изоляторах, по тросам, непосредственно по основанию и даже скрыто без труб.

АПРТО — провод по конструкции аналогичен проводу АПР, но, имея более надежную изоляцию, специально предназначен для проводки в стальных и дру-

гих трубах. Выпускается на разное число жил, но в осветительных сетях рекомендуются одножильные провода.

АПРФ (ранее АТПРФ, провод Куло) — провод с 1—3 жилами с резиновой изоляцией, в металлической фальцованной оболочке. Служит для открытой прокладки по основанию в сухих, влажных и жарких помещениях. Ранее применялся очень широко, но постепенно вытесняется различными видами скрытой проводки.

АРТ — провод с 2—4 жилами, с резиновой изоляцией, в конструкцию которого входит несущий трос.

АППВ и АППВС — плоские провода с 2—3 жилами, с поливинилхлоридной изоляцией, имеют между жилами разделительную пленку, через которую гвоздями или шурупами крепятся к основанию. Провод АППВС такой пленки не имеет и специально предназначен для скрытой проводки без труб.

АНРГ, АВВГ, АВРГ — вебронированные кабели с 2, 3, 4, а в некоторых случаях с 5 жилами, в марке которых Н указывает на ирированную оболочку, Р — резиновую изоляцию, В — поливинилхлоридную изоляцию и оболочку. Провод АНРГ в основном предназначен для сырых и особосырых помещений, провода АВВГ и АВРГ — для помещений с химически активной средой. Оболочка кабелей двух последних марок не должна подвергаться действию прямых лучей солнца, так как может размягчаться при нагреве.

В числе других кабельных изделий можно назвать нагревостойкие провода, в частности марок ПАЛ и РКГМ, применяемых в жарких помещениях, а также провод ПРКА — для зарядки светильников, в конструкции которых отсутствуют зажимы для присоединения питающих проводов.

Из многих возможных видов открытой проводки многолетняя практика отобрала ряд наиболее рациональных способов и, наоборот, почти полностью отвергла такие устаревшие способы, как все виды проводки на роликах и проводку на изоляторах по стенам и потолкам.

Полностью сохраняет свое значение непосредственная прокладка проводов и кабелей по строительным основаниям: стенам и потолкам. Для этой проводки, в зависимости от условий среды, применяются провода АПРФ и кабели АНРГ, АВРГ, АВВГ. Для соединения и ответвлений от указанных проводов и кабелей применяются коробки: проходные, тройниковые или крестовые. Хотя секции проводки могут готовиться в условиях МЭЗ, но этот вид проводки является малоиндустриальным, так как требует частых креплений к основаниям (в среднем 4 на каждый метр). Крепления осуществляются скобками на дюбелях, «пристреливаемых» к основанию строительным монтажным пистолетом. Для упрощения монтажных работ иногда к основанию пристреливается в ограниченном числе точек стальная лента или проволока-катанка и уже к ней полосками-пряжками крепятся провода или кабели. При прокладке по общей трассе более двух проводов или кабелей становится целесообразным крепить к основанию не отдельные проводники, а специальные лотки из перфорированной стали и уже в них укладывать проводники. При определенных условиях в лотках могут прокладываться и такие провода, как АПР и АПВ. Число проводников одного вида освещения, прокладываемых в общем лотке, не ограничивается. Закрепление проводов и кабелей через 1 м требуется только на вертикальных участках и при расположении лотков плашмя на

опорных поверхностях, а также в местах поворотов трассы и ответвлений. Схема проводки в лотках представлена на рис. 6-1.

Значительно реже, чем лотки, для той же цели применяются замкнутые короба.

Распространена также открытая прокладка проводов АПВ, АПРТО и других марок в трубах: стальных водогазопроводных и винипластовых. Первые допустимы при любых условиях среды, вторые — при любых условиях, кроме пожаро- и взрывоопасных помещений, а также проводки на сценах, в зрительных залах, в больницах, в детских учреждениях и на чердаках. Применение

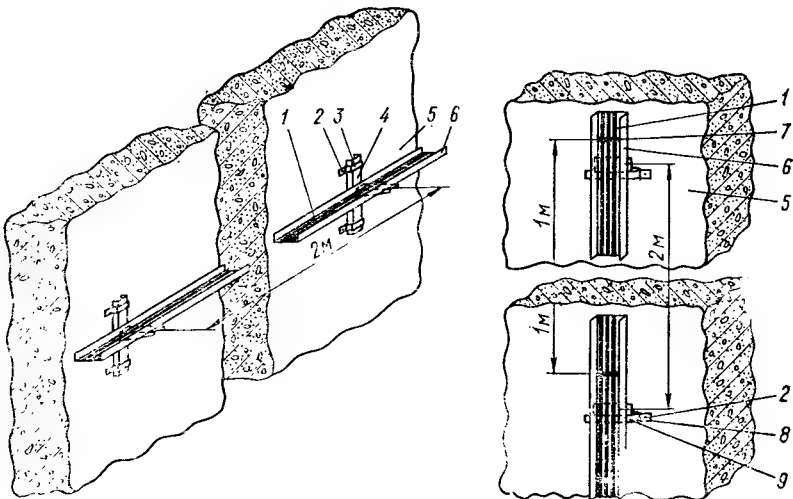


Рис. 6-1. Проводка в лотках
1 — кабель (провод); 2 — дюбель; 3 — скоба; 4 — стойка кабельная; 5 — стена; 6 — лоток перфорированный; 7 — бандаж; 8 — полоса стальная; 9 — профиль z-образный монтажный

проводки в стальных трубах следует жестко ограничивать, допуская ее лишь в случаях, когда иные виды проводки нецелесообразны, или недопустимы, например во взрывоопасных помещениях классов В-I и В-II (см. § 7-12), или при необходимости надежной защиты проводов от механических воздействий. В одной трубе разрешается прокладка до 8 проводов групповых линий одного вида освещения; разрешена прокладка в одной трубе также сетей напряжения до 42 В и до 380 В, если первые заключены в отдельную изоляционную трубку. Ответвления при трубных проводках выполняются в коробках. Крепление труб производится скобками; их приварка к основаниям запрещается. В особо тяжелых условиях среды для достижения наибольшей надежности проводки не исключается прокладка в трубах кабелей АНРГ, АВРГ, АВВГ, что следует считать крайней мерой.

В цехах с ферменным покрытием наиболее рационально трассировать проводку вдоль цеха, т. е. в виде перекидок между фермами, так как в этом случае число креплений оказывается наименьшим. Здесь сохраняет свое значение проводка на изоляторах, выполняемая в зависимости от условий среды проводами АПР или АПВ. Хотя этот род проводки и малоиндустриален, но в данных условиях его можно считать наиболее надежным. Более индустриальной, но несколько менее надежной, является проводка проводом АРТ, в конструкцию которого входит несущий трос. Изолирующих опор для этого не требуется; крепление провода и натяжение троса осуществляется специальными коробками. Область применения этого провода пока ограничивается его малым

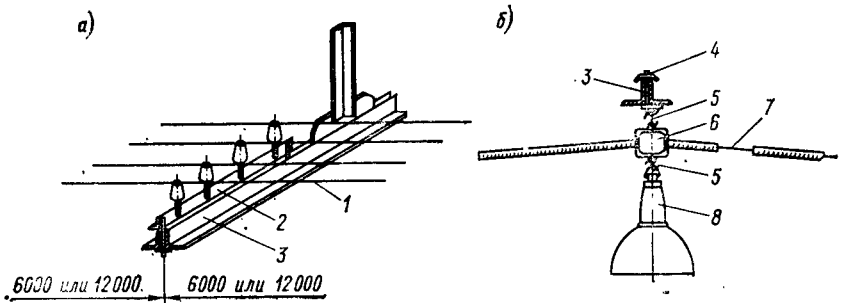


Рис. 6-2. Проводка поперек ферм проводами на изоляторах (а) и тросовым проводом (б)
1 — провод АПР или АПВ; 2 — траверса в изоляторах; 3 — нижний пояс металлической фермы; 4 — серьга; 5 — крюк; 6 — коробка тросовая; 7 — провод тросовый АРТ; 8 — светильник

выпуском и отсутствием коробок в пыле- и водозащищенном исполнении. Характерные узлы проводки поперек ферм представлены на рис. 6-2.

Вполне современными и индустриальными являются тросовые проводки, из числа разновидностей которых наиболее распространены проводки, выполняемые кабелями или многожильными проводками, прикрепленными к струне из проволоки-катанки бандажными полосками. От уже упомянутой проводки по струне, укрепленной к основанию, эти проводки отличаются тем, что струна свободно натягивается между фермами, колоннами или иными выступающими деталями. Основным достоинством этой проводки является возможность заготовки больших секций в условиях МЭЗ, откуда они доставляются на место монтажа в виде бухт. В комплект секций могут входить не только провода или кабели, но также ответвительные коробки и светильники. Узел струнной проводки показан на рис. 6-3, а. При больших пролетах, на протяжении которых устанавливаются светильники, для устранения нежелательной стрелы провеса применяется «цепная» подвеска (рис. 6-3, б), состоящая из двух тросов или проволок, соединенных поперечинами.

Наиболее индустриальной, хотя отнюдь не наиболее дешевой или эстетичной, является проводка, выполненная шинопроводами. Заводы Главэлектромонтажа выпускают трехфазные четырехпроводные шинопроводы ШОС на токи до 25, 63 и 100 А [25]. В комплект шинопроводов входят детали для их подвески и соединения, а также контактные разъемные соединения для присоединения светильников. Шинопроводы ШОС предназначены

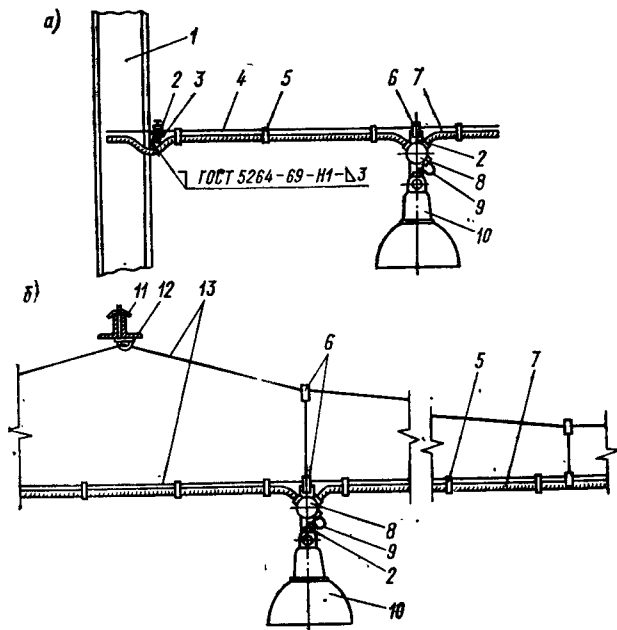


Рис. 6-3. Струнная проводка (а) и цепная подвеска струны (б)

1 — колонна; 2 — полоса перфорированная; 3 — уголок перфорированный; 4 — струна; 5 — бандаж; 6 — зажим; 7 — кабель; 8 — коробка ответвительная; 9 — провод в поливинилхлоридной трубке (кабель); 10 — светильник; 11 — серьга; 12 — нижний пояс металлической фермы; 13 — трос

для помещений с нормативными условиями среды. Основным эксплуатационным преимуществом шинопроводов является «гибкость» выполненных ими сетей в том отношении, что можно по мере надобности переставлять, добавлять или снимать светильники. Интересно, что за рубежом выпускаются также шинопроводы для «бесштепсельного» присоединения светильников, которое осуществляется в любом месте по длине шинопровода. Эскиз проводки, выполненной шинопроводами ШОС, представлен на рис. 6-4.

В годы начала массового внедрения и строительством сборного железобетона имели место творческие искания и дискуссия в области способов выполнения скрытых электропроводок. Предлагались, в частности, такие решения, как выполне-

ние проводок в стеклянных трубках, использование в качестве проводников стальной арматуры железобетона, снабженной необходимой изоляцией и т. п.

Наиболее дискуссионным был вопрос о допустимости проводки с несменяемыми проводами, т. е. наглухо заделанными в борозды, слой штукатурки, по плитам перекрытий под слоем цементного раствора или даже замоноличенными в плиты при их изготовлении на заводе. Эксплуатационные недостатки несменяемой проводки очевидны, однако при современной конструкции зданий и технологии строительно-монтажных работ такие проводки неизбежны и их приходится допускать при невозможности выполнить проводку со сменяемыми проводами.

При устройстве скрытой проводки решаются два взаимно связанных вопроса: место прокладки и способ выполнения проводки.

Скрытая сменяемая и несменяемая проводка может выполняться:

в каналах и пустотах строительных конструкций, имеющих или специально предусмотренных для этой цели;

в зазорах между железобетонными плитами, с последующей заделкой их алебастровым раствором;

в слое или под слоем мокрой штукатурки;

в толще строительных конструкций, с заделкой в них проводов при изготовлении этих конструкций;

в заштукатуриваемых бороздах в строительных конструкциях, покрываемых сухой или мокрой штукатуркой или подвергающихся затирке;

поверх негорючих плит перекрытий, под чистым полом следующего этажа, в трубах или без труб.

При прокладке по горючим основаниям должны применяться дополнительные меры пожарной безопасности путем прокладки под проводами листового асбеста или устройства намета штукатурки.

Преимущественное применение для скрытой проводки имеют плоские провода АППВС (с возможностью замены на АППВ или АПВ), которые, однако, запрещены для проводок в помещениях взрывоопасных, особоопасных, на сценах и в зрительных залах зрелищных предприятий.

Скрытая проводка со сменяемыми проводами, при отсутствии каналов или пустот, должна выполняться в трубах или коробах. Преимущественное применение имеют полиэтиленовые, полипропиленовые и винипластовые трубы, которые, однако, запрещены в пожаро- и взрывоопасных помещениях и в некоторых других случаях, предусмотренных СНиП III-33-76, табл. 17 [26].

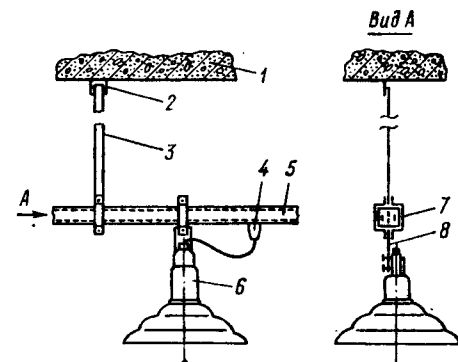


Рис. 6-4. Прокладка осветительного шинопровода

1 — перекрытие; 2 — закладная деталь; 3 — подвес; 4 — штепсель со шнуром; 5 — шинопровод; 6 — светильник; 7 — хомут; 8 — полоса перфорированная

При невозможности использования иных труб и в наиболее ответственных случаях допускается проводка в стальных трубах. В пластмассовых трубах могут прокладываться провода АППВС, АПВ, АПР, АППВ, в стальных трубах — АПВ и АПРТО.

К области скрытых проводок могут быть отнесены также проводки, замоноличиваемые в полах производственных зданий, и проводки, выполняемые в полостях над подвесными, подшивными потолками.

Первые распространены в пролетных зданиях, когда надо пересечь пролет, не поднимаясь на уровень ферм, или выполнить проводку к контактным разъемным соединениям вдоль стен или ряда колонн, не устраивая длинных спусков. При отсутствии по трассе кабельных каналов эта проводка выполняется в стальных или винилпластовых трубах.

Подвесные и подшивные потолки часто предусматриваются не только в административно-бытовых и общественных зданиях, но и в производственных цехах. Если эти потолки выполнены из негорючих материалов, то проводка над ними может выполняться проводами в винилпластовых трубах. Над потолками из горючих материалов проводка должна выполняться в стальных трубах.

В общественных зданиях, особенно в гостиницах, в последние годы начато внедрение интересной и перспективной плинтусной проводки. Обычные плинтусы заменяются специальными электротехническими, которые должны быть выполнены из негорючих изоляционных материалов. Отдельные полости этих плинтусов предназначаются для размещения осветительной проводки и слаботочных линий (радио, телефон и т. д.).

Линии аварийного освещения внутри зданий обычно прокладываются от линий рабочего освещения. Допускается, однако, прокладка их по внешней поверхности корпусов шинопроводов рабочего освещения, по общим тросам или струнам с линиями рабочего освещения, но при расстоянии от последних, в свету, не менее 20 мм, а также совместно с проводами рабочего освещения, но при невозможности соприкосновения с ними, в коробах для подвески люминесцентных светильников и в специальных полостях последних, предназначенных для прокладки проводов.

Питающие сети вне зданий преимущественно выполняются кабелями в траншеях или кабельных сооружениях. Только для питания небольших, разбросанных по территории зданий, например для ремонтных баз, жилых домов дачного типа, сельскохозяйственных объектов и т. д., применяются воздушные линии, выполняемые голыми алюминиевыми проводами на изоляторах по опорам. Отдельные участки сетей наружного освещения прокладываются по зданиям и выполняются преимущественно кабелем АНРГ, в основном же сети наружного освещения выполняются либо голыми алюминиевыми проводами, либо кабелями в траншеях. Первый способ проводки предпочтителен как более экономичный, но имеется тенденция к более широкому применению кабельных сетей, так как при современном развитии средств механизации воздушные линии нередко повреждаются стрелами грузочных устройств.

6.2. ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ПО ТОКУ НАГРУЗКИ И ЗАЩИТА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Каждый участок осветительной сети характеризуется определенным значением передаваемой по нему мощности и, соответственно, определенным значением тока нагрузки.

Расчетная мощность определяется как установленная мощность, умноженная на коэффициент спроса, учитывающий, что даже в часы максимума нагрузки (к которым должны относиться все расчеты) могут работать не все лампы. Для линий аварийного и наружного освещения, а также для всех линий групповой сети коэффициент спроса принимается равным единице, а для линий питающей сети — в пределах 0,8—1,0. В принципе коэффициент спроса тем меньше, чем больше здание и чем из большего числа отдельных помещений оно состоит.

В свою очередь установленная мощность определяется как сумма мощностей всех ламп, питаемых непосредственно от сети основного напряжения, и номинальных мощностей трансформаторов 12—36 В. Дополнительно учитываются потери в ПРА газоразрядных ламп: около 10% от мощности ламп ДРЛ и ДРИ, около 20% от мощности люминесцентных ламп, включенных по стартерным схемам, и около 30% для тех же ламп при бесстартерных схемах.

Для административно-бытовых, инженерно-лабораторных и т. п. корпусов дополнительно учитывается также мощность, потребляемая через контактные разъемные соединения, из расчета 40 Вт на каждое.

Если расчетный максимум нагрузки равен P (в киловаттах), то ток в фазовых проводах определяется по следующим формулам: для трехфазных линий

$$I = \frac{1000P}{3U_{\phi} \cos \varphi} \approx 1,5 \frac{P}{\cos \varphi};$$

для двухфазных линий с нулевым проводом

$$I = \frac{1000P}{2U_{\phi} \cos \varphi} \approx 2,3 \frac{P}{\cos \varphi}.$$

для однофазных линий

$$I = \frac{1000P}{U \cos \varphi} \approx 4,5 \frac{P}{\cos \varphi}.$$

Во второй формуле коэффициенты даны для системы 380/220 В. Проходя по проводникам, ток их нагревает, поэтому основное требование к выбору сечений проводов — это ограничение их температуры значениями, обеспечивающими пожарную безопасность и длительную сохранность изоляции. Для проводов и кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией эта температура составляет 65 °С.

Таблицы допустимых токовых нагрузок проводов и кабелей приводятся в ПУЭ и справочниках, например в [27]. В табл. 6-1 приводятся токовые нагрузки для некоторых марок кабельных изделий с алюминиевыми жилами.

Таблица 6-1

Сечение провода, мм ²	Значение длительно допустимого тока, А, для провода или кабеля (способ прокладки)					
	АПРТО и АПВ (в трубах)		АНРГ, АВРГ, АВВГ, АПРФ (по основанию)		бронирован- ного кабеля с бумажной изоляцией (в земле)	голого про- вода (вне помещений)
	при числе жил или числе проводов в трубах, равных					
	2	4	2	4	4	1
2,5	20	19	21	17	—	—
4	28	23	29	24	38	—
6	36	30	38	29	46	—
10	50	39	55	38	65	—
16	60	55	70	54	90	105
25	85	70	90	68	115	135
35	100	85	105	81	135	170
50	140	120	135	100	165	215
70	175	140	165	126	200	265
95	215	175	200	153	240	320
120	245	200	230	190	270	375

При составлении таблиц учитываются многие факторы, определяющие установившуюся температуру проводников: условия среды, способ прокладки, число жил и т. п. В некоторых случаях к табличным данным вводятся поправочные коэффициенты, например если температура воздуха или земли отличается от указанной в таблице.

Принципиальное значение имеет тот факт, что допустимый ток возрастает медленнее, чем увеличивается сечение проводников. Это происходит потому, что если бы при увеличении сечения плотность тока оставалась неизменной, то тепловыделения возрастали бы пропорционально квадрату диаметра проводника, а поверхность охлаждения — пропорционально первой степени диаметра, что повело бы к увеличению температуры нагрева. При очень больших токах нагрузки может оказаться целесообразным «расщепление» кабелей, т. е. замена одного кабеля двумя или тремя, соединенными параллельно, в сумме имеющими меньшее сечение.

Важнейшим способом обеспечить надежную работу сетей является их защита. В качестве аппаратов защиты применяются:

1. Плавкие предохранители, пробочные или трубчатые, в которых при нагрузке, превышающей определенное значение, перегорает плавкая вставка, отключая защищаемую линию.

2. Автоматические выключатели (автоматы) с тепловыми расцепителями, при которых тот же результат достигается воздействием теплового реле на отключающее устройство.

3. Автоматы с электромагнитными расцепителями, которые при недопустимом токе производят мгновенное отключение линии (отсечка).

4. Автоматы с комбинированными расцепителями, имеющими и тепловое реле и электромагнитную отсечку.

Автоматы имеют ряд существенных преимуществ перед предохранителями, поэтому и получили широкое распространение. Они удобно komponуются в щитки, безопасны в обслуживании, совмещают в одном аппарате функции защиты и управления, действуют многократно, тогда как в предохранителях сгоревшая плавкая вставка должна заменяться новой, и т. д.

Рабочей характеристикой аппаратов защиты является время-токовая характеристика, пример которой приведен на рис. 6-5. Пример относится к комбинированному расцепителю, но левая часть кривой характерна и для предохранителей, и для тепловой защиты, т. е. для аппаратов, которые имеют обратозависимую от тока характеристику.

Ток, несколько превышающий номинальный, аппарат выдерживает неограниченно длительное время; с увеличением кратности перегрузки уменьшается время срабатывания защиты, которое может стать весьма малым; отсечка срабатывает практически мгновенно. Аппараты защиты одного типа имеют некоторый разброс характеристик, соответствующий площади, заштрихованной на рисунке.

Для автоматов с комбинированными расцепителями номинальным является ток теплового расцепителя, отсечка же рассчитана на 6—10-кратный ток. Это соответствует режиму работы силовых сетей: при кратковременных пусковых токах не срабатывает ни один вид защиты, при коротких замыканиях срабатывает отсечка, при длительных перегрузках — тепловая защита.

В групповых осветительных сетях применяются, как правило, автоматы, имеющие только тепловые расцепители, в питающих сетях — автоматы с комбинированными расцепителями.

Номинальные токи аппаратов защиты следует, по возможности, выбирать наименьшими по расчетным токам соответствующих участков сети, но вместе с тем они не должны срабатывать при случайных пиках нагрузки. В осветительных сетях такие пики создаются из-за наличия у источников света пусковых токов, которые, в частности у ламп накаливания, обусловлены тем, что сопротивление вольфрамовой нити в холодном состоянии примерно в 15 раз меньше, чем в нагретом. При включении ламп накаливания пик тока достигает 15-кратного рабочего тока, но уже примерно после 0,06 с уменьшается до значения последнего. За это время не срабатывает тепловая защита и не успевают сгореть плавкие вставки, и учитывать пусковые токи приходится только при некоторых типах комбинированных расцепителей, чтобы избежать срабатывания отсечки.

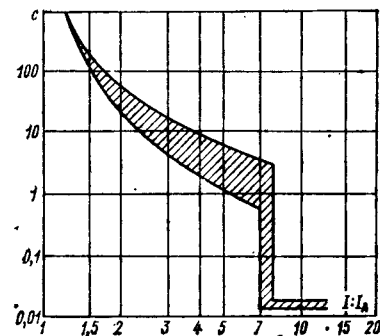


Рис. 6-5. Время-токовая характеристика аппарата защиты

Пусковые токи люминесцентных ламп очень невелики и кратковременны, так что могут не учитываться во всех случаях. Наиболее неблагоприятны в этом отношении лампы ДРЛ и ДРИ. Кратность их пусковых токов невелика — около 1,6, но стабилизация тока происходит примерно за 250 с. Отсечка при этом не срабатывает, но в ряде случаев приходится завышать на 20—40% номинальные токи тепловой защиты и плавких вставок.

При установке автоматов с тепловыми расцепителями в закрытых шкафах или ящиках следует считать, что их номинальный ток снижается на 10%.

На пути тока от трансформатора до источников света всегда оказывается несколько аппаратов защиты. Естественно требование, чтобы при перегрузках или коротких замыканиях срабатывал аппарат «виновного» звена сети, но не высших звеньев, т. е. чтобы была обеспечена селективность (избирательность) защиты. Для этого номинальный ток каждого аппарата должен быть на две ступени (как минимум — на одну ступень) выше, чем аппарата следующего, низшего участка сети.

Аппараты защиты, как указано в § 5-2 и 5-3, должны устанавливаться на линиях, отходящих от щитов, щитков и других распределительных устройств, в местах присоединения осветительной сети к силовым магистралям, на вводах в здания при питании от отдельно стоящих подстанций или подстанций, не обслуживаемых персоналом потребителя, со стороны высшего и низшего напряжения трансформаторов 12—36 В (со стороны высшего напряжения аппараты могут не устанавливаться при питании отдельной группой не более трех трансформаторов), а также в местах, где происходит изменение сечения линии.

В последнем случае допускается не устанавливать аппаратов защиты, если проводник уменьшенного сечения защищается аппаратами предыдущего участка или если уменьшенное сечение проводника составляет не менее половины сечения проводника защищенного участка. Кроме того, в ответвлениях и разветвлениях групповой сети, защищенной на ток до 63 А, проводники с уменьшенными сечениями могут не защищаться при длине до 3 м — во всех случаях и без ограничения длины — при проводнике в стальных трубах.

Допускается относить аппараты защиты от места присоединения или ответвления на расстояние 3 м, а при ответвлениях в труднодоступных местах — до 30 м, причем остающиеся незащищенными участки должны выполняться кабелями с негорючей оболочкой или проводами в стальных трубах, а при длине более 3 м должны иметь пропускную способность не менее 10% пропускной способности магистрали.

Аппараты защиты должны устанавливаться во всех фазах (полусах), на нулевых же проводах они устанавливаются только в двухпроводных линиях взрывоопасных помещений класса В-I.

От токов короткого замыкания, безусловно, должны быть защищены все сети. Обычно этим одновременно достигается и защита от значительных и длительных перегрузок, но специальные требования в отношении защиты от перегрузок, нередко ведущие к увеличению сечения проводов, предъявляются только в случаях повышенной пожарной опасности или большой вероятности перегрузок. Для сетей освещения защита от перегрузки требуется в следующих случаях:

а) во всех помещениях, если сети выполнены открыто проложенными незащищенными изолированными проводниками с горючей изоляцией;

б) при любом способе проводки — в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях предприятий, в пожаро- и взрывоопасных помещениях.

Защита от токов короткого замыкания должна обеспечивать отключение линий при коротком замыкании в их конце. Для этого при замыкании фазового провода на корпус или на нулевой провод ток должен превышать номинальный ток аппарата защиты:

в 3 раза — в невзрывоопасных помещениях и установках при защите предохранителями и автоматами с тепловыми и комбинированными расцепителями;

в 4 раза — во взрывоопасных помещениях и установках при защите предохранителями;

в 6 раз — во взрывоопасных помещениях и установках при защите автоматики с тепловыми и комбинированными расцепителями;

в 1,25—1,4 раза — при автоматах, имеющих только электромагнитную отсечку.

ПУЭ разрешают не производить расчетной проверки кратности тока короткого замыкания, если по отношению к допустимым токовым нагрузкам на проводники аппараты защиты имеют кратность не менее чем 3 — при плавких предохранителях, 1,0 — при тепловых расцепителях и 4,5 — при электромагнитной отсечке.

Необходимо отметить, что автоматы только с электромагнитной отсечкой в осветительных сетях применять не рекомендуется и практически они для защиты в этих сетях не используются.

В сетях, защищаемых от перегрузки, соотношение между допустимым током нагрузки проводников и током аппаратов защиты должно быть не менее 0,8—1,25 в зависимости от рода проводки и характера помещения.

Так как ток аппаратов защиты должен быть не менее расчетного тока линии, а с учетом отстройки от кратковременных перегрузок и требований селективности может оказаться и больше, чем ток нагрузки, перечисленные требования часто могут быть реализованы только путем увеличения сечения проводов, преимущественно нулевых, когда необходимо увеличивать ток короткого замыкания, и фазовых — в остальных случаях.

Пусть четырехжильный кабель АНРГ питает нагрузку 25 кВт при $\cos \varphi = 1$. Ток составляет 37 А, и по этому току может быть выбрано сечение 10 мм² про-

пускной способностью 38 А. Аппарат защиты выбираем на 40 А. Если кабель проложен в производственном не пожаро- или взрывоопасном помещении, то требуется защита только от тока короткого замыкания. Так как отношение пропускной способности провода к току аппарата защиты равно почти единице, то расчетной проверки не требуется при любом типе аппарата защиты. Если кабель проложен в пожароопасном производственном помещении, то защита от перегрузки требуется, но при всех типах аппаратов защиты ПУЭ требуют, чтобы отношение пропускной способности провода к току аппарата защиты было не меньше единицы, и увеличения сечения также не требуется. Если же кабель проложен в общественном здании и защищен плавким предохранителем, то указанное отношение должно быть не менее 1,25 и сечение должно быть увеличено до 16 мм².

6.3. РАСЧЕТ СЕТЕЙ ПО ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Одной из важнейших задач при устройстве осветительных сетей является обеспечение у ламп необходимого уровня напряжения, установленного нормативными документами (§ 5-1), поскольку это зависит от сечений проводников сети.

Напряжение в начальной точке сети, т. е. на выводах трансформаторов, не является определенной, постоянной величиной. Оно зависит от всех особенностей устройства сети высокого напряжения и от нагрузки, изменяющейся во времени и не поддающейся точному прогнозированию. В этих условиях единственная практическая возможность, общепринятая и закрепленная нормами, — это принятие фактического напряжения холостого хода трансформаторов равным номинальному, т. е. в системе 380/220 В равным 231 В между фазовыми и нулевыми проводами, что соответствует 105% номинального значения напряжения ламп. В трансформаторе при нагрузке имеет место потеря напряжения $\Delta U_{\text{т}}$, зависящая от его мощности, степени загрузки и коэффициента мощности. Очевидно, если у ламп должно быть обеспечено напряжение не ниже $U_{\text{л}}$, то потеря напряжения в сети не должна превышать

$$\Delta U_{\text{с}} = U_{\text{х.х}} - U_{\text{л}} - \Delta U_{\text{т}},$$

где все значения выражены в процентах. Определенные по этой формуле значения $\Delta U_{\text{с}}$ приводятся в справочниках [27] и, если считать $U_{\text{л}}$ равным 97,5%, чаще всего лежат в пределах 4—6%. В случаях когда у ламп допускается или принимается напряжение менее 97,5% номинального, значения $\Delta U_{\text{с}}$ соответственно увеличиваются. В менее ответственных сетях напряжения до 42 В допускается потеря напряжения от выводов трансформатора до наиболее электрически удаленной лампы до 10%.

Следует различать в линиях осветительной сети понятия падение и потеря напряжения. Падение — это разность потенциалов между двумя точками одного из проводников, могущая быть измеренной вольтметром и на векторной диаграмме изображаемая отрезком определенного направления, потеря — это численное уменьшение напряжения между двумя проводниками на протяжении определенного участка сети. Потеря напряжения определяется проекцией вектора падения напряжения на направление вектора напряжения данной фазы и в зависимости от направления обоих векторов может иметь не только положительное, но и отрицательное значение (в последнем случае напряжение у приемников возрастает за счет потери напряжения в сети).

Рассмотрим основные случаи определения потери напряжения (при выводе формул сделаны некоторые допущения, практически несущественные).

Пусть к концу однофазной двухпроводной линии приложена нагрузка, определяемая значениями I и $\cos \varphi$. Длина линии (в один конец) L (в метрах), ее сопротивление (в омах), отнесенное к одному метру длины провода, r — активное, x — реактивное.

Обратимся к рис. 6-6. Вектор 01 изображает напряжение в начале линии; вектор 23, длина которого составляет $2LrI$ и который направлен параллельно вектору тока I , есть падение напряжения в активном сопротивлении; вектор 12, длиной $2LxI$, направленный перпендикулярно вектору тока, есть падение напряжения в реактивном сопротивлении. Геометрическая сумма обоих векторов, т. е. вектор 13 представляет собой полное падение напряжения, проекция которого на направление вектора напряжения 14 есть потеря напряжения, в результате которой к приемнику подводится напряжение, представляемое отрезком 04. Нетрудно видеть, раздельно находя проекции отрезков 12 и 23, что потеря напряжения равна $2/L (r \cos \varphi + x \sin \varphi)$. Относя это значение к сетевому напряжению U (в процентах), получаем

$$\Delta U = \frac{200/L (r \cos \varphi + x \sin \varphi)}{U}. \quad (6-1)$$

В трехфазных линиях с равномерной нагрузкой фаз по нулевому проводу ток не протекает (токи высших гармоник, имеющиеся в сетях с газоразрядными лампами, не вызывает потери напряжения) и поэтому для каждой из фаз

$$\Delta U = \frac{100/L (r \cos \varphi + x \sin \varphi)}{U_{\phi}}. \quad (6-2)$$

Во многих случаях коэффициент мощности в сетях освещения достаточно высок, а значение x мало по сравнению с r , так как сечения проводников сравнительно невелики, а линии выполняются кабелями, сложными проводами или проводами в трубах, индуктивность же тем больше, чем больше расстояние между проводами линии. В результате часто оказывается возможным пренебречь вторым из заключенных в скобки слагаемым выражений (6-1) и (6-2). Тогда, заменяя величину r ее выражением через удельную проводимость γ (в омах на метр), а значение тока выражая через мощность P (в киловаттах), получим более удобные выражения:

Для однофазных линий

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 10^4 PL}{U^2 \gamma}; \quad (6-3)$$

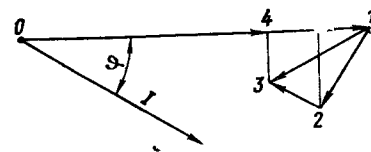


Рис. 6-6. Определение потери напряжения

для трехфазных линий

$$\Delta U = \frac{10^{11} PL}{3U_{\phi}^2 \eta \eta} \quad (6-4)$$

Произведение PL , выражаемое в киловатт-метрах, называется моментом нагрузки и обозначается M . Остальные величины, входящие в формулы, кроме сечения q (в квадратных миллиметрах), обозначим как 1 : C , в результате чего формулы можно заменить общим для всех случаев выражением

$$\Delta U = M : Cq. \quad (6-5)$$

Значение коэффициента C зависит от напряжения сети, числа фаз в линии и рода проводникового материала. Для алюминиевых

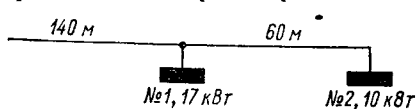


Рис. 6-7. Пример расчета питающей сети на потерю напряжения

проводников значение C составляет: 44 — для трехфазных линий 380/220 В; 19,5 — для линий из двух фазовых и нулевого проводника системы 380/220 В; 7,4 — для однофазных линий 220 В; 0,198 — для однофазных линий 36 В; 0,088 — для однофазных линий 24 В; 0,022 — для однофазных линий 12 В.

Пусть в трехфазной линии, выполненной кабелем с алюминиевыми жилами, имеющей длину 120 м и питающей щиток с нагрузкой 18 кВт, может быть допущена потеря напряжения 1,4%. Решая формулу (6-5) относительно q , находим

$$q = \frac{120 \cdot 18}{44 \cdot 1,4} = 35 \text{ мм}^2.$$

Для упрощения расчетов по выражению (6-5) используются таблицы моментов (табл. 6-2), в которых для различных сочетаний q и ΔU приводятся значения M . Таким образом, таблицы позволяют по двум любым из этих величин найти третью.

Так, для выполненного примера при $\Delta U = 1,4\%$ находим значение момента 2156 кВт·м как ближайшего к фактическому значению 2160 кВт·м и соответствующее ему сечение 35 мм².

Для линий с несколькими нагрузками общий момент определяется или как сумма моментов отдельных нагрузок (значение каждой нагрузки умножается на ее расстояние от начала линии), или, чаще, как сумма нагрузочных моментов отдельных участков (длина каждого участка умножается на мощность, передаваемую по этому участку).

Показанная на рис. 6-7 четырехпроводная линия 380/220 В имеет алюминиевые проводники и питает щитки № 1 и № 2. Потеря напряжения до щитка № 2 не должна превышать 2,2%.

Момент нагрузки первого участка составляет 140 (17 + 10) = 3780 кВт·м, второго — 60 · 10 = 600 кВт·м, суммарный момент равен 4380 кВт·м. По табл. 6-2 ближайшее большее сечение составляет 50 мм². Можно, однако, принять это сечение только до щитка № 1, и при моменте нагрузки, равном 3780 кВт·м,

Таблица 6-2

$\Delta U, \%$	Значение моментов нагрузки, кВт·м, в зависимости от сечения, мм ² , проводников с алюминиевыми жилами															
	Трехфазные линии 380/220 В								Однофазные линии 220 В							
	6	10	16	25	35	50	2,5	4	6	9	15	24	30	47	71	118
0,2	53	88	141	220	308	440	4	6	9	15	24	47	30	47	71	118
0,4	106	176	282	440	616	880	7	12	18	30	47	94	60	94	141	220
0,6	158	264	422	660	924	1320	11	18	27	44	60	118	77	118	176	282
0,8	211	352	563	880	1232	1760	15	24	35	59	89	166	107	166	255	379
1,0	264	440	704	1100	1540	2200	18	30	44	74	104	192	124	192	296	403
1,2	317	528	845	1320	1848	2640	22	36	53	89	133	237	148	237	355	486
1,4	370	616	986	1540	2156	3080	25	41	62	104	163	284	178	284	426	570
1,6	422	704	1126	1760	2464	3520	30	47	71	118	192	331	207	331	500	672
1,8	475	792	1267	1980	2772	3960	33	53	80	133	221	379	236	379	554	744
2,0	528	880	1408	2200	3080	4400	37	59	89	148	251	426	265	426	630	840
2,2	581	968	1549	2420	3388	4840	41	65	98	163	276	468	296	468	696	936
2,4	634	1056	1690	2640	3696	5280	44	71	107	178	296	500	320	500	744	1008
2,6	686	1144	1830	2860	4004	5720	48	77	115	192	320	540	344	540	800	1080
2,8	739	1232	1971	3080	4312	6160	52	83	124	207	344	580	368	580	864	1168
3,0	792	1320	2112	3300	4620	6600	55	89	133	221	368	620	392	620	912	1248
3,2	845	1408	2253	3520	4928	7040	59	95	142	236	392	660	416	660	960	1312
3,4	898	1496	2394	3740	5236	7480	63	101	151	251	416	700	440	700	1024	1392
3,6	950	1584	2534	3960	5544	7920	67	107	160	265	440	740	464	740	1088	1472
3,8	1003	1672	2675	4180	5852	8360	70	112	169	280	464	780	488	780	1152	1552
4,0	1056	1760	2816	4400	6160	8800	74	118	178	296	488	820	512	820	1216	1632

найти, что потеря напряжения до этого щитка составит 1,7%, а линию до щитка № 2 рассчитать на остающиеся 0,5%. При моменте нагрузки этого участка, равном 600 кВт·м, необходимое сечение составляет 25 мм².

Разветвленные сети рассчитываются аналогично изложенному. Так, если бы в точке присоединения щитка № 1 (рис. 6-7), отвечала линия к щитку № 3, то его нагрузка должна была бы быть учтена в значении момента нагрузки первого участка линии, само же ответвление должно быть рассчитано на полную располагаемую потерю напряжения за вычетом потери до начала ответвления.

С разветвленными сетями особенно часто приходится встречаться при расчете групповых линий, для которых сечение проводов обычно принимается неизменным в пределах каждой группы. В этих случаях бывает достаточно оценить на глаз, какая лампа является электрически наиболее удаленной, определить моменты нагрузки только по пути тока к этой лампе и по ним выбрать сечение проводов.

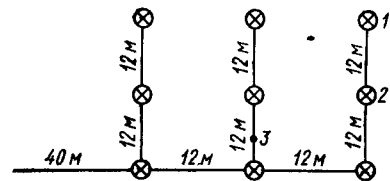


Рис. 6-8. Расчет групповой сети на потерю напряжения

На рис. 6-8 представлена схема подобной двухпроводной группы 220 В, выполненной алюминиевыми проводами. Мощность каждой лампы 200 Вт, допустимая потеря напряжения 2,4%.

Находим сумму моментов нагрузки по пути тока до наиболее удаленной лампы 1:

$$M = 40 (0,6 + 0,6 + 0,6) + 12 (0,6 + 0,6) + 24 \cdot 0,6 = 101 \text{ кВт·м.}$$

По табл. 6-2 находим соответствующее этому значению момента нагрузки сечение проводника — 6 мм².

В последнем слагаемом использован упрощенный прием определения момента: в месте нахождения лампы 2 явно находится центр нагрузки для трех последних ламп и мощность умножена на расстояние до этого центра. При некотором навыке нетрудно определить положение центра нагрузки и для всей группы — в данном случае это будет точка 3, и свести операцию нахождения момента нагрузки к одному умножению (в данном случае $1,8 \times \times 56 = 101$).

Если отдельные участки сети могут быть выполнены проводниками разного сечения (питающие сети, комплекс питающих и групповых сетей), то возникает задача наиболее экономичного распределения потерь напряжения ΔU между отдельными звеньями сети. Так, уже в простейшем случае, когда питающая линия обслуживает один щиток, при большом значении ΔU в этой линии ее сечение будет малым, но групповая сеть получится тяжелой, и, наоборот, питающая линия большого сечения позволит иметь легкую групповую сеть.

Не приводя вывода, довольно громоздкого, укажем приближенный способ расчета сетей, обеспечивающий минимальную суммарную затрату проводникового металла.

Для каждого участка сети отдельно определяются моменты нагрузки, которые обозначаются M — для участков питающей сети и m — для линий групповой сети. Каждый участок рассчитывается по суммарному моменту его и всех последующих по направлению тока участков и исходя из полной допустимой потери напряжения ΔU . Моменты нагрузки одно-, двух- и трехфазных линий нельзя учитывать на равных основаниях, так как электрически эти линии неравноценны. Принимая за основные трехфазные линии, мы должны моменты остальных линий учесть с повышающим коэффициентом α , численно равным корню квадратному из отношения массы проводникового металла в этих линиях к массе металла в трехфазных линиях, при равенстве нагрузок, длин и потерь напряжения.

Таким образом, каждый участок линии рассчитывается по моменту

$$M = \sum M + \sum \alpha m \quad (6-6)$$

и по потере напряжения, распределенной от начала данного участка до конца сети. Приближенность способа отчасти компенсируется тем, что для первого участка сети сечение выбирается с некоторым завышением. При расчете переходят от участка к участку, последовательно отбрасывая моменты нагрузок пройденных участков и потерю напряжения на этих участках.

Методика расчета поясняется примером расчета сети, схема которой представлена на рис. 6-9; проводники алюминиевые, система 380/220 В, группы однофазные, полная распределенная потеря напряжения 4%. Для упрощения все группы приняты одинаковыми, имеющими, условно, сосредоточенную нагрузку по 2 кВт. Коэффициент приведения моментов нагрузки α при трехфазной питающей сети и однофазных группах равен 1,85 (при трехфазных группах, естественно, $\alpha = 1,0$).

Полный приведенный момент нагрузки для расчета начального участка

$$M = 120 \cdot 12 + 1,85 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 20 + 90 \cdot 6 + 1,85 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 20 = 2424 \text{ кВт·м.}$$

Исходя из этого значения, при потере напряжения $\Delta U = 4\%$ по табл. 6-1 выбираем сечение начального участка, которое составляет 16 мм². При таком сечении и фактическом моменте нагрузки, равном 1440 кВт·м, потеря напряжения на участке составляет 2%.

Группы щитка № 1 рассчитываем как двухпроводные с учетом того, что момент нагрузки равен 40 кВт·м и потери напряжения $\Delta U = 4 - 2 = 2\%$; сечение проводников оказывается равным 2,5 мм².

Второй участок питающей линии рассчитываем, исходя из значений $\Delta U = 2\%$ и момента нагрузки $2424 - 1440 = 984$ кВт·м; сечение проводников принимается равным 10 мм². Потеря напряжения при фактическом моменте нагрузки 540 кВт·м составляет 1,2%. Для групп щитка № 2 остается значение $\Delta U = 4 - 2 - 1,2 = 0,8\%$; сечение проводников составляет 6 мм².

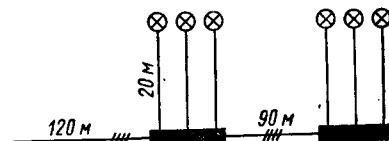


Рис. 6-9. Расчет питающей и групповой сети на минимум проводникового металла

Выше было указано, что пренебрежение реактивным сопротивлением линий возможно во многих, но не во всех случаях. Инструкция СН 357-77 [5] требует учета этого сопротивления в следующих случаях:

а) при $\cos \varphi \approx 0,9$ (газоразрядные лампы с компенсацией реактивной мощности) — при проводке кабелями, проводами в трубах, или многожильными проводами начиная от сечения 95 (150) мм², а при проводке на изолирующих опорах — начиная от сечения 25 (35) мм²;

б) при $\cos \varphi = 0,5 \div 0,6$ (газоразрядные лампы без компенсации) — при тех же способах проводки — начиная от сечения 25 (35) мм² или 10 (16) мм².

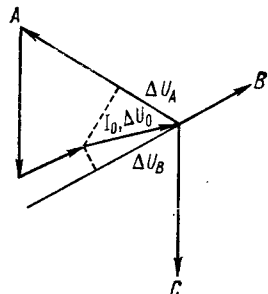


Рис. 6-10. Потери напряжения в нулевом проводе

В скобках указаны сечения алюминиевых жил, вне скобок — медных. В этих случаях точный расчет производится по формуле (6-2), но для целей практики допустимо вести расчет как обычно, по таблицам моментов нагрузки, умножая моменты участков сети на поправочные коэффициенты, значения которых приводятся в справочниках.

В тех случаях когда трехфазные сети нагружены неравномерно или когда к двух- или трехфазным линиям групповой сети присоединены рассредоточенные однофазные нагрузки по всему

нулевому проводу или по его отдельным участкам протекают токи, вызывающие дополнительную потерю напряжения. Как известно, сумма токов во всех проводах четырехпроводной линии равна нулю.

Построив векторную диаграмму, мы видим (рис. 6-10), что ток в нулевом проводе изображается замыкающей многоугольника токов.

Чтобы не усложнять изложение, будем считать сопротивление нагрузки и сети чисто активными. В этом случае векторы на рисунке можно считать равным образом изображающими напряжения и потери напряжения. Вектор падения напряжения в нулевом проводе, проектируясь на направление фазы *A*, дает уменьшение напряжения, т. е. положительную потерю напряжения, а проектируясь на направление фазы *B* дает повышение напряжения, т. е. отрицательную потерю напряжения. Для практических расчетов удобнее определять падение напряжения в нулевом проводе отдельно от тока каждой фазы. Соответствующий вектор, проектируясь на направление данной фазы, даст положительную потерю напряжения, равновеликую падению напряжения, а проектируясь на направление каждой из других фаз, даст отрицательную, потерю, вдвое меньшую, чем падение, так как $\cos 120^\circ = -0,5$.

Таким образом, результирующая потеря напряжения в нулевом проводе для нагрузок фазы *A*

$$\Delta U = \Delta U_A - 0,5(\Delta U_B + \Delta U_C),$$

где $\Delta U_A, \Delta U_B, \Delta U_C$ — падения напряжения в нулевом проводе от токов соответствующих фаз.

Отсюда, а также учитывая формулу (6-5), приходим к следующей формуле:

$$\Delta U_A = \frac{M_A}{2C_2 q_A} + \frac{M_A - 0,5(M_B + M_C)}{2C_2 q_0}, \quad (6-7)$$

где M_A, M_B, M_C — нагрузочные моменты соответствующих фаз; q_A, q_0 — сечения фазового и нулевого проводов.

Индекс «2» у коэффициента *C* подчеркивает, что значение принимается как для двухпроводных линий, а множитель 2 учитывает, что каждый из проводов цепи фазы — нуль «работает» в один конец. Для других фаз в формуле заменяются индексы.

Кабель с алюминиевыми жилами сечения $3 \times 16 + 1 \times 10$ мм² длиной 150 м питает группу из 4 прожекторов по 1,5 кВт каждая, причем 2 прожектора присоединены к фазе *A*, 1 — к фазе *B* и 1 — к фазе *C*. Определить потерю напряжения для каждой фазы.

Находим

$$\Delta U_A = \frac{3 \cdot 150}{2 \cdot 7,4 \cdot 16} + \frac{3 \cdot 150 - 0,5(1,5 \cdot 150 + 1,5 \cdot 150)}{2 \cdot 7,4 \cdot 10} = 3,4\%;$$

$$\Delta U_B = \Delta U_C = \frac{1,5 \cdot 150}{2 \cdot 7,4 \cdot 16} + \frac{1,5 \cdot 150 - 0,5(3 \cdot 150 + 1,5 \cdot 150)}{2 \cdot 7,4 \cdot 10} = 0,2\%.$$

Как видно из формулы, равенство потерь напряжения для всех фаз обеспечивается при равенстве их нагрузочных моментов, но для линий с распределенными однофазными нагрузками необходимо сделать одну оговорку: пусть последние лампы линии присоединены к фазам *A, B, C*, причем очевидно, что до лампы фазы *B* надо проложить три провода, а до лампы фазы *C* — два провода. Механически применяя формулу Цейтлина, мы для нагрузки фазы *A* учтем ту отрицательную потерю напряжения, которая имела бы место на двух последних участках, тогда как фактически здесь уже нет даже провода фазы *A*. Таким образом, при определении значения ΔU для любой фазы моменты двух других фаз должны учитываться только до последней нагрузки данной фазы.

В § 5-3 рассмотрены три варианта распределения ламп в трехфазных группах между фазами сети и отмечено, что порядок фазировки *A—B—C—C—B—A* может обеспечить равенство моментов нагрузки отдельных фаз. В свете сказанного ясно, что это еще не означает полного равенства потерь напряжения, хотя Инструкция СН 357-77 и разрешает рассчитывать их как обычные трехфазные линии, т. е. находя момент нагрузки умножением всей нагрузки на расстояние до центра ее приложения. При фазировке *A—B—C—A—B—C* заведомо не достигается даже выравнивания моментов и разрешение рассчитывать их как трехфазные, начиная от 9 ламп на группу, едва ли не слишком либерально. Что касается линий, фазированных в порядке *A—A... B—B... C—C...*, то их надо рассчитывать

как три однофазные линии с общим нулевым проводом, сечение которого может, кстати, оказаться большим сечения части фазовых проводов.

Некоторые особенности имеет расчет цепей дистанционного управления освещением, которое (см. также § 5-4) осуществляется или на переменном токе, когда прокладываются специальные линии, или на постоянном токе, когда в качестве линии дистанционного управления используются свободные жилы телефонных кабелей. В обоих случаях для надежного срабатывания аппаратов к их катушкам должно быть подведено напряжение, не менее 85% номинального.

При управлении на переменном токе пусковой ток катушек в 10—15 раз превышает их рабочий ток, причем в момент пуска резко снижается $\cos \varphi$.

Если пренебречь индуктивным сопротивлением линии, что возможно при кабельных и трубных проводках, то сечение (в квадратных миллиметрах) может быть найдено по формуле С. А. Ключева:

$$q = IL\beta,$$

где I — пусковой ток, А; L — длина линии в один конец, км; β — коэффициент, зависящий от номинального напряжения, проводникового материала и коэффициента мощности при пуске и учитывающий также допустимое значение снижения напряжения. Значения коэффициента β приводятся в справочниках [27].

При управлении на постоянном токе пусковой ток может быть принят равным 0,85 рабочего тока катушки, а используемые жилы телефонных кабелей имеют стандартный диаметр медных жил 0,5 мм, при котором сопротивление, считая в оба конца, составляет 190 Ом/км. Отсюда потери напряжения ΔU в линии могут быть найдены по формуле:

$$\Delta U = \frac{0,85 I_p R_L}{U_n} 100 = \frac{161,5 I_p L}{U_n} 100,$$

где I_p — рабочий ток катушки, А; R_L — полное сопротивление линии, Ом; U_n — номинальное напряжение, В; L — длина линии в один конец, км.

Так как значение ΔU является заданным и равным 15%, то эта формула чаще используется для определения предельной допустимой длины линии. Так, для распространенного напряжения постоянного тока 48 В эта предельная длина в километрах составляет

$$L = 0,044 : I_p.$$

Если длина линии превышает предельную, то напряжение источника питания принимается выше, чем номинальное напряжение катушек, а в цепь управления при необходимости вводится добавочное сопротивление.

В этом случае при токе $0,85 I_p$ номинальное напряжение источника питания распределяется между тремя сопротивлениями:

линии $R_L = 190L$, катушки реле R_K и добавочным сопротивлением R_d . Следовательно,

$$U_n = 0,85 I_p (R_d + R_K + 190L),$$

откуда

$$R_d = \frac{U_n}{0,85 I_p} - R_K - 190L.$$

Эта же формула может быть использована для определения сопротивления R_d , включаемого последовательно с сигнальными лампами системы управления.

6.4. ЗАЗЕМЛЕНИЕ, ЗАНУЛЕНИЕ И НУЛЕВЫЕ ПРОВОДА

Хорошо известно, что при ошибочных действиях людей или при неисправности электроустановки она может стать причиной травматизма. Поражающим фактором является сила тока, проходящего через тело человека, которая определяется значениями напряжения и сопротивления. Опасность уменьшается с уменьшением напряжения, но даже наименьшее из напряжений, широко применяемых в осветительных установках (12 В), при определенных условиях может быть опасным.

Что касается сопротивления, то его значение определяется сложным комплексом факторов: характером контакта проводника с кожей человека, состоянием последней, температурой, влажностью и т. д.

Основные меры для обеспечения безопасности заключаются в том, чтобы изолировать человека, с одной стороны, от частей, могущих оказаться под напряжением (защитные рукавицы, инструмент с изолирующими рукоятками и т. д.), с другой стороны, от того, что в электротехнике называется «землей» и принимается имеющим неограниченно большую проводимость. Непроводящие полы, изолирующие скамейки, резиновые коврики, надежная обувь — вот эффективные средства обеспечения безопасности людей, по крайней мере при работе с электроустановками напряжения до 1000 В.

В тех случаях когда эти средства не могут быть использованы (а их большинство), приходится учитывать возможность одновременного соприкосновения человека с «землей» и с частями электроустановки. Непосредственное соприкосновение с нормально токоведущими частями — относительно маловероятный случай. Значительно чаще возникает опасность, когда человек касается частей, оказавшихся под напряжением в силу неисправности, например металлических корпусов светильников.

На рис. 6-11 показаны основные случаи возникновения опасности и соответствующие защитные меры.

Пусть нейтраль N трансформаторов изолирована или вообще отсутствует (в последнем случае электроприемники следует считать присоединенным к фазным проводам). Пусть корпус прием-

ника оказался под напряжением, и человек, находящийся в контакте с «землей», касается этого корпуса (рис. 6-11, а). Если бы все провода системы имели совершенную изоляцию от земли, то через человека прошел бы лишь незначительный и в установках до 1000 В практически безопасный емкостный ток. Фактически так не бывает, и провода сети можно считать соединенным с «землей» через сопротивление утечки r_y или также через емкость. В этом случае образуется цепь тока: фаза—корпус—человек—земля—утечка—фаза и через человека пойдет ток, определяемый значением и соотношением сопротивлений. Если, однако, корпус

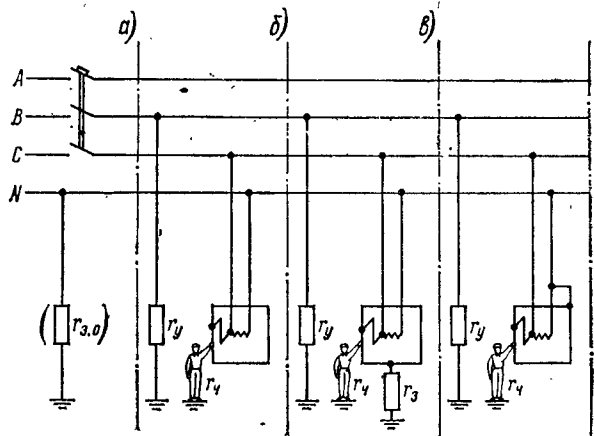


Рис. 6-11. Заземление и соединение с нейтралью

приемника преднамеренно соединить с землей через очень малое сопротивление r_3 , то человек оказывается шунтированным этим малым сопротивлением и сила проходящего через него тока значительно снизится. Этим обосновывается необходимость защитного заземления как важной меры обеспечения безопасности в установках с изолированной нейтралью или без нейтрали.

Пусть теперь нейтраль трансформатора заземлена через малое сопротивление $r_{3,0}$. В этом случае заземление корпусов неэффективно и даже вредно: в названной выше цепи большое сопротивление r_y заменяется малым сопротивлением $r_{3,0}$ и через тело человека, даже шунтированного сопротивлением r_3 (рис. 6-11, б), может пойти опасный ток. Значение этого тока не будет, однако, достаточным для быстрого срабатывания аппарата защиты, и участок, в котором произошло замыкание на корпус, длительно останется неотключенным. В этих случаях заземление заменяется занулением, т. е. надежным соединением корпусов электрооборудования с заземлением нулевым проводом (рис. 6-11, в). При наличии такого соединения, как только фазный провод соединится с корпусом, возникает ток короткого замыкания и срабатывает

аппарат защиты. При наличии зануления корпусов они могут быть также дополнительно заземлены, что даже несколько улучшает условия защиты.

Для уверенного, практически мгновенного, срабатывания аппаратов защиты в сетях, где осуществляется зануление, ток короткого замыкания должен в определенное число раз превышать номинальный ток аппарата защиты: в 3 раза — в общем случае и в 4—6 раз, в зависимости от типа аппаратов защиты, — во взрывоопасных помещениях и установках (см. § 6-2). В некоторых случаях это может потребовать увеличения сечения нулевого провода, в протяженных же воздушных линиях требуется даже повторное заземление нулевого провода, что имеет значение также с точки зрения молниезащиты.

ПУЭ требуют устройства зануления при напряжении выше 42 В переменного тока во всех помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках. Во взрывоопасных зонах зануление обязательно при любом напряжении. Перечень предметов, подлежащих занулению, определяется тем, что соединены с нулевым проводом должны быть все токопроводящие предметы, нормально не находящиеся под напряжением, но могущие оказаться под таковым при замыкании на них фазных проводов: корпуса светильников и распределительных устройств, трубы и тросы, металлические оболочки проводов и т. д. Занулению подлежат также предметы, расположенные в зоне над подвесными и подшивными потолками, и один из выводов низшего напряжения или средняя точка обмотки трансформаторов 12—36 В. Не требуют зануления части, установленные на заземленных и зануленных металлических конструкциях и имеющих с последними надежное металлическое соединение, а также отражатели светильников, конструктивно связанные только с изолирующими корпусами последних.

Для зануления, как правило, используются рабочие нулевые провода той же сети, за исключением:

а. Во взрывоопасных помещениях класса В-I (см. § 7-2), где в двухпроводных линиях должны одновременно выключаться фазный и нулевой провода, для зануления должен прокладываться отдельный провод от группового щитка.

б. Для зануления переносных светильников и переносных трансформаторов должны применяться дополнительные жилы гибкого кабеля, присоединяемые к дополнительному, третьему (защитному), контакту разъемных двухполюсных соединений. Последний может быть соединен с рабочим нулевым проводом в контактном разъемном соединении, кроме соединений, предназначенных для включения электро медицинских приборов в медпунктах и электро бытовых приборов в кухнях квартир, гостиниц и общежитий, а также питаемых открыто проложенными проводами на изолирующих опорах. В этих случаях дополнительный контакт разъемного соединения должен быть присоединен

к нулевому проводу сети на ближайшей опоре или в ответвительной коробке.

в. В линиях, переключаемых на питание от сети постоянного тока, зануление корпусов светильников производится от нулевого провода сети переменного тока.

В нормах многих зарубежных стран дополнительные провода для зануления требуются во всех случаях.

Зануление корпусов светильников общего освещения в сетях с заземленной нейтралью должно осуществляться следующим образом:

при вводе в светильник открытых незащищенных проводов — гибким изолированным проводом, присоединенным к заземляющему винту корпуса светильника и к рабочему нулевому проводу сети у ближайшей неподвижной опоры или коробки;

при вводе в светильник кабеля, проводов в трубе или металло-рукаве, а также при скрытой проводке без труб ответвлением от рабочего нулевого провода внутри светильника.

Таким образом, зарядка зануляемых светильников тремя проводами требуется лишь в относительно редких случаях. Светильники с газоразрядными лампами при отдельной установке ПРА могут зануляться путем устройства перемычки между заземляющими болтами ПРА и светильника.

Некоторые дополнительные требования к устройству зануления или заземления можно найти непосредственно в нормативных документах, например в [5, 6], и др.

Выше была уже отмечена важная и разносторонняя роль нулевых проводов в осветительных сетях. В двухпроводных однофазных линиях они являются обычными рабочими проводами и нагружены таким же током, как фазные провода. В двух- и трехфазных линиях они обеспечивают возможность включения ламп на фазное напряжение, а при их обрыве резко нарушается распределение напряжения между лампами различных фаз, причем в двухфазных линиях с равномерной нагрузкой они нагружены таким же током, как фазные провода. При питании газоразрядных ламп или в установках с полупроводниковыми приборами, например с ограничителями напряжения ТОН (§ 5-1), по ним протекают токи высших гармоник, которые хотя и не учитываются при расчете потери напряжения, но в равной степени с током основной частоты нагревают провода. В линиях с неравномерной нагрузкой фаз или с распределенными однофазными нагрузками в нулевых проводах могут иметь место значительные, причем разные по знаку, потери напряжения, а значение токов, проходящих по отдельным участкам проводов, может быть достаточно большим.

Наконец в данном параграфе было показано, какое значение имеют нулевые провода с точки зрения электробезопасности. Естественно, что нормативные документы предъявляют к нулевым проводам ряд требований.

В питающих и групповых линиях на заземленных нулевых проводах запрещается установка аппаратов защиты и управления, кроме уже отмеченных в § 5-3 и 6-2 двухпроводных линий взрывоопасных помещений класса В-1, где нулевые провода должны защищаться и отключаться наравне с фазными проводами.

Сечения нулевых проводов должны обеспечивать значение токов короткого замыкания, достаточное для срабатывания защиты при однофазных замыканиях.

Как общее требование в трехфазных линиях нулевые провода должны иметь проводимость (т. е., соответственно, сечение) не менее 50% проводимости фазных проводов.

Кроме того, должны учитываться следующие требования:

а) в одно- и двухфазных линиях сечения нулевых и фазных проводов должны быть одинаковыми;

б) в трехфазных групповых линиях с отдельным выключением фаз пропускная способность нулевых проводов должна соответствовать току наиболее нагруженной фазы;

в) в обоих вышеуказанных случаях, если эти линии по потере напряжения рассчитываются по формуле Цейтлина (см. § 6-3), сечение нулевых проводов определяется расчетом и может даже быть большим, чем сечение отдельных фазовых проводов;

г) объединенные нулевые провода нескольких групп, прокладываемых по общей трассе и имеющих местные выключатели, должны иметь пропускную способность, соответствующую суммарному току проводов наиболее нагруженной фазы;

д) нулевые провода линий, по которым протекает ток газоразрядных ламп с компенсированными ПРА или с групповой компенсацией реактивной мощности, а также линий, питающих тиристорные ограничители напряжения или отходящих от этих ограничителей, должны иметь пропускную способность, соответствующую току наиболее нагруженной фазы.

Обращается особое внимание на этот последний случай. Во-первых, к нему не относятся линии с некомпенсированной реактивной нагрузкой, в частности линии, отходящие от щитков к лампам ДРЛ и ДРИ. Во-вторых, во всех случаях речь идет не о сечении, а о пропускной способности. Если, скажем, линия защищена на ток 25 А, но по условиям потери напряжения фазные провода имеют сечение 50 мм², то от нулевого провода требуется лишь, чтобы его сечение длительно выдерживало ток 25 А.

Одно время разрешалось использование в качестве нулевых проводов «естественных» токопроводов: труб, тросов, металлоконструкций зданий и т. д. В действующих ПУЭ такое разрешение сохранено лишь для алюминиевых оболочек кабелей, питающих невзрывоопасные помещения, кроме случаев, перечисленных выше в п. «д».

Заканчивая рассмотрение вопросов электроснабжения и схем питания осветительных установок, выполнения, расчетов осветительных сетей и электробезопасности, можно рекомендовать литературные источники [28 и 29], в которых также отражены указанные вопросы и зачастую более подробно, чем это представилось возможным осветить в данной книге.

ОСОБЕННОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ОБЪЕКТОВ

7-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В предшествующих главах рассмотрен широкий круг вопросов устройства осветительных установок вообще, без «привязки» к конкретным объектам, но все же с преимущественной ориентацией на внутреннее освещение промышленных предприятий.

Хотя все осветительные установки выполняются на основе общих принципов и общих «первичных» нормативных документов, в первую очередь СНиП [1] и ПУЭ, но освещение каждой определенной группы объектов: отрасли промышленности, вида общественных зданий или открытых пространств, имеет свои особенности. Уже было отмечено, что непосредственный выбор освещенности по СНиП [1] в силу ряда обстоятельств представляет определенные затруднения и что поэтому на основе и в уточнение этих норм составляются отраслевые нормы освещенности, где приводится освещенность для конкретных помещений и рабочих мест с указанием нормативных значений качественных показателей. В этих документах даются также конкретизированные указания по выбору источников света, видов и систем освещения. В принципе отраслевыми нормами должны быть охвачены все возможные объекты освещения, но составление комплекса таких норм—столь трудоемкая задача, что ее, практически, не удается полностью решить в промежуток времени между двумя последовательными пересмотрами первичных норм, в частности СНиП.

Специальные требования к устройству освещения можно найти также в нормативных документах, не посвященных, казалось бы, специально этому вопросу, например в общесоюзных или отраслевых нормах по технике безопасности, охране труда, строительному делу и противопожарной безопасности. К сожалению, эти документы не всегда составляются при участии светотехников и в ряде случаев содержат противоречивые или технически необоснованные требования.

Даже при наличии нормативных документов освещение отдельных групп помещений и рабочих мест нередко оказывается сложной задачей, решить которую можно только на основе исследований и расчетов. Такие задачи должны, естественно, решаться не для конкретного помещения определенного завода, а в общем виде. В области создания типовых рациональных способов освещения работает ряд исследовательских и проектных организаций; так, например, Институт охраны труда в г. Иваново посвятил свою деятельность разработке вопросов освещения в текстильной, швейной промышленности, на предприятиях искусственного волокна.

Особенностям освещения отдельных объектов посвящен ряд книг и брошюр [30, 31, 35—39]. Многочисленные публикации по этим вопросам имеются в журнале «Светотехника».

В данном руководстве не ставится и не может ставиться задача рассмотреть особенности освещения не только всех, но и многих групп объектов, как не может ставиться такая задача и в курсе «Осветительные установки». Целесообразно, однако, рассмотреть в данной главе особенности освещения лишь некоторых объектов, преимущественно непромышленного характера, при освещении которых приходится решать задачи, не рассмотренные в остальных главах или хотя и рассмотренные, но решение которых в условиях этих объектов представляет специфический интерес.

7-2. ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНЫЕ ЗОНЫ

В тех случаях когда неисправности в осветительной установке или ее небрежная эксплуатация могут стать причиной пожара или взрыва (а такие случаи, к сожалению, не редки), требования пожарной безопасности имеют, можно сказать, приоритет перед всеми остальными.

Пожаро- и взрывоопасные помещения, или по формулировке новых редакций Правил устройства электроустановок (ПУЭ) зоны, встречаются во многих отраслях промышленности. Устройство электротехнических, в частности осветительных, установок этих объектов во всех деталях регламентируется нормативными документами, и здесь ставится задача, не пересказывая всех нормативных требований, дать общее знакомство со спецификой этих объектов и особенностями устройства их освещения.

Рассматриваемые помещения по степени и характеру опасности пожара и взрыва разделяются на классы. Правильное определение класса помещения является особо ответственной задачей и должно производиться совместно технологами и электриками, причем имеет значение классификация не по строительным нормам, а по ПУЭ.

ПОЖАРООПАСНЫЕ ЗОНЫ

Пожароопасные зоны разделяются на классы: П-I — помещения, в которых источником опасности являются пары горючих жидкостей (например, масел) с температурой вспышки паров выше 61 °С; П-II — помещения, в которых имеется пожаро-, но не взрывоопасная пыль или волокна; П-IIa — помещения, в которых хранятся или обрабатываются горючие вещества без выделения в опасных количествах пыли или волокон; П-III — зоны наружных установок, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С или твердые горючие вещества.

Признаки класса П-IIa не следует понимать расширительно и нельзя, например, относить к этому классу помещения только

по той причине, что в них имеется деревянная мебель или деревянные полы.

Требования к исполнению светильников в пожароопасных зонах основаны на большом практическом опыте и представляются достаточно разумными. Эти требования дифференцированы по типам источников света. Дело в том, что падение на горючие предметы включенной лампы накаливания, равно как и ламп ДРЛ, ДРИ и ДНаТ, может быть в определенных условиях причиной пожара и должно быть исключено. Раньше то же требование распространялось на люминесцентные лампы, но сейчас победила точка зрения, что малая тепловая инерция электродов этих ламп и низкая температура их колбы делает эти лампы пожаробезопасными. Претерпела эволюцию и точка зрения относительно пожарной безопасности различных схем включения этих ламп, и в настоящее время нормы не делают различия между стартерными и бесстартерными схемами зажигания.

В результате требования к исполнению светильников для пожароопасных зон сводятся к следующему.

В помещениях классов П-I и П-II для всех светильников требуется не менее чем пылезащищенное (5) исполнение (см. § 2-6), но для светильников с люминесцентными лампами допускается также исполнение с ограниченной зоной пылезащиты (5'). Для помещений класса П-IIа, а также П-II, но при наличии общеобменной вентиляции и местного нижнего отсоса отходов, требования смягчены, и для ламп накаливания допускаются светильники со сплошными колпаками из силикатного стекла, для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, кроме того, — открытые светильники, но при наличии приспособления, препятствующего выпадению лампы, для люминесцентных ламп — открытые светильники, при выполнении ввода проводами с негорючей оболочкой или в стальной трубе.

Для складских помещений класса П-IIа с ценными материалами, горючими или в горючей упаковке, дополнительно запрещается применение люминесцентных светильников с отражателями или рассеивателями из горючих материалов (в частности, из органического стекла).

Для наружных пожароопасных зон предъявляются такие же требования, как для помещений класса П-IIа, но дополнительно требуется иметь дождезащищенное исполнение.

Определенные ограничительные требования предъявляются также к исполнению электроустановочных изделий, которые, кроме того, следует по возможности выносить из пожароопасных зон.

В пожароопасных зонах всех классов разрешены почти все виды электропроводок. Некоторые ограничения частично указаны в § 6-1.

По понятным причинам особую опасность представляют запираемые пожароопасные складские помещения. Через них не допускается транзитная прокладка

сетей, не относящихся к электроприемникам этих помещений, и независимо от аппаратов управления установленных внутри, должны устанавливаться вне помещений общие отключающие аппараты в пломбируемом ящике из негорючих материалов.

ВЗРЫВООПАСНЫЕ ЗОНЫ

Взрывоопасными являются смеси некоторых газов, паров или пылей с воздухом, причем в зависимости от свойств этих веществ взрывоопасность начинается при тех или иных низших концентрациях и прекращается при таких высоких концентрациях, когда количество кислорода воздуха в смеси становится недостаточным для окисления.

Взрывоопасные смеси классифицируются по двум признакам. Они разделяются на группы от Т1 до Т5 (по старой редакции ПУЭ от А до Д) по температуре самовоспламенения, т. е. той температуре, до которой должна быть нагрета смесь, чтобы она воспламенилась без постороннего источника зажигания, и на категории 1, 2, 3, 4 и 4а по условиям передачи взрыва через зазоры между фланцами. Здесь дело в том, что если имеются две полости, содержащие опасную смесь (одна из них — внутренняя полость светильника), полости эти разделены оболочкой, между фланцами которой имеется зазор («щель»), и если в одной из полостей происходит взрыв, то он будет или не будет передан в другую полость в зависимости от толщины этого зазора; наибольший зазор допускается для категории 1 (например, аммиак), и наименьший — для категории 4 (водород).

Взрывоопасные зоны классифицируются в ПУЭ следующим образом (формулировки приводятся в сокращенном виде):

Класс В-I. Опасные концентрации паров или газов могут образоваться при нормальных, но не длительных режимах работы.

Класс В-Iа. Такие же концентрации могут образоваться только при аварийных режимах.

Класс В-Iб. Так же, как класс В-Iа, но при наличии одной из следующих особенностей:

высокий (не менее 15%) низший предел опасной концентрации и резкий запах при предельно допустимой по санитарным нормам концентрации;

возможность образования лишь местной опасной концентрации.

Класс В-Iг. Наружные установки, где образование взрывоопасных смесей газов или паров с воздухом возможно лишь в аварийных режимах.

Класс В-II. Опасные концентрации пыли или волокон могут образоваться при нормальных, но не длительных режимах работы.

Класс В-IIа. Такие же концентрации могут образоваться лишь при аварийных режимах.

В прошлом для обеспечения взрывобезопасности светильников предлагались и использовались различные конструктивные решения, подчас весьма остроумные. Изготавливались светильники, проникновение в которые взрывоопасной среды

исключалось повышенным давлением в полости светильника. Это давление достигалось или периодической подкачкой чистым воздухом и мембранной блокировкой, отключавшей лампу при падении давления, или помещением в светильник ампул с веществом, выделяющим инертный газ. Интересны светильники со встроенным в корпус миниатюрным турбогенератором, к которым вместо электрических проводов по шлангу подводился сжатый воздух и т. д.

В современной практике для освещения взрывоопасных зон предусмотрены следующие исполнения стационарно установленных светильников: пылезащищенное (5) (см. § 2-6) или пыленепроницаемое (6) для классов В-Іб и В-ІІа, взрывобезопасное для класса В-І, повышенной надежности или взрывобезопасное для классов В-Іа, В-ІІ, В-Іг.

Как исполнение повышенной надежности (обозначение Н), так и взрывобезопасное исполнение (обозначение В) должны в нормальном режиме исключать возможность возникновения опасных искр и нагрева, причем для каждой группы опасных смесей установлена предельная температура наружных частей — от 100 до 450 °С.

Взрывобезопасное исполнение должно отвечать двум дополнительным условиям: в случае если в полости светильника произойдет взрыв, стеклянный колпак должен, не разрушаясь, выдерживать возникающее при этом давление (примерно $9,8 \cdot 10^5$ Па), а зазоры между фланцами должны исключать передачу взрыва в окружающее пространство, т. е. продукты взрыва должны выходить достаточно охлажденными. Этот последний вид защиты в практике называется «щелевой защитой». Искробезопасность обоих исполнений обеспечивается тем,

что при ввинчивании или вывинчивании лампы разрыв цепи происходит в особой полости, которая сама по себе является взрывобезопасной, так как имеет достаточную прочность и щелевую защиту. Принципиальная схема такого устройства показана на рис. 7-1.

Таким образом светильник отвечает условиям повышенной надежности или взрывобезопасности не вообще, а применительно к определенной категории и группе опасной смеси (или к более низким категориям и группам), указанным в его маркировке.

Например, марка светильника ВЗТ4 означает взрывобезопасность для групп Т1, Т2, Т3, Т4 категорий 1, 2, 3 (по старым нормам этот светильник обозначался ВЗГ, в каталогах и информациях эта маркировка пока не изменена).

Надо сказать, что для люминесцентных светильников вопрос искробезопасности патронов пока не получил практического решения.

Чтобы показать, как сложны конструктивно взрывобезопасные светильники, на рис. 7-2 приводится разрез одного из таких светильников для ламп 200 Вт, где 1 — верхняя и 5 — нижняя части корпуса, соединенные на резьбе, 2 и 3 — блокировочные

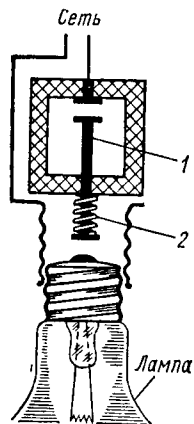


Рис. 7-1. Принципиальная схема искробезопасного патрона
1 — подвижный контакт; 2 — пружина

контакты, замыкающие цепь лампы только при свинченных частях корпуса, 4 — стопорный винт, 6 — прижимные винты (12 шт.), 7 — защитное стекло, 8 — защитная сетка.

Создание светильников для ламп мощностью более 200—300 Вт встречает большие технические трудности. Кроме того, не для всех типов ламп и не для всех опасных смесей в данное время существуют взрывобезопасные светильники. Эти обстоятельства заставляют в ряде случаев применять другие решения, предусмотренные нормами.

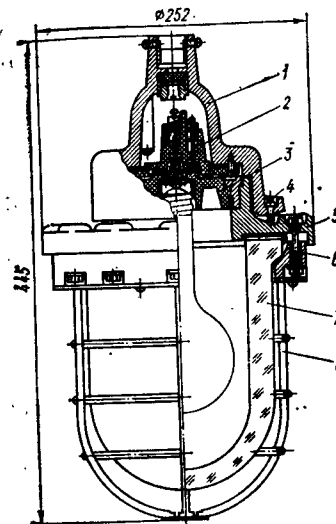


Рис. 7-2. Взрывобезопасный светильник

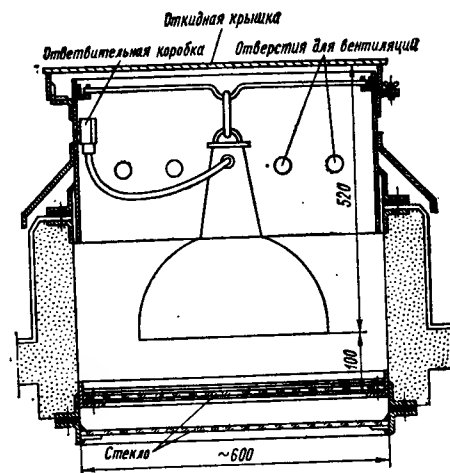


Рис. 7-3. Потолочный фонарь для светильника

Нормы разрешают использовать для освещения взрывоопасных помещений светильники обычных типов, установленные за двойным остеклением оконных фрагм или за таким же остеклением ниш в стенах, в последнем случае с устройством естественной вентиляции наружным воздухом. Эти решения иногда применяются в силу неизбежности, но они мало экономичны и пригодны только для относительно узких помещений, без затеняющего оборудования. В одноэтажных зданиях светильники могут быть установлены в потолочных фонарях, также с двойным остеклением и естественной вентиляцией (рис. 7-3).

Лампы или светильники могут быть установлены также в коробах, продуваемых чистым воздухом, с устройством блокировки, отключающей питание при прекращении продува.

Можно полагать, что в ближайшем будущем радикальным решением задачи освещения взрывоопасных помещений явится применение щелевых светильников-световодов (§ 2-11). Их каналы взрывобезопасны, а вводные устройства могут быть вынесены за пределы опасной зоны или размещены во взрывобезопасных камерах.

Во всех взрывоопасных зонах осветительные сети могут выполняться бронированными кабелями или проводами в водогазопроводных трубах. В помещениях классов В-Іа, В-Іб, В-ІІа допускаются также открыто проложенные небронированные кабели

с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией, а в помещениях классов В-1б и В-1а — также открыто проложенные изолированные провода.

При выполнении во взрывоопасных помещениях трубной проводки в качестве проходных и ответвительных коробок должны применяться взрывобезопасные фитинги, а в помещениях классов В-1, В-1а и В-1б в местах прохода проводки через стены, если при этом меняется класс помещения, категория или группа опасной смеси или же осуществляется выход в неопасную среду, должны устраиваться разделительные уплотнения.

Аппараты защиты и управления, контактные разъемные соединения и коробки надо по возможности выносить из взрывоопасных зон в смежные, неопасные помещения или же применять в специальном исполнении.

Некоторые другие требования к осветительным сетям во взрывоопасных зонах указаны в § 6-1.

Подробные сведения по устройству осветительных установок во взрывоопасных и пожароопасных помещениях приводятся в книге [31], а по монтажу освещения в пожароопасных и взрывоопасных установках — в инструкциях [32 и 33].

7-3. ПОМЕЩЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

При всем многообразии общественных зданий их осветительные установки имеют некоторые общие черты, на которых следует остановиться. По своему характеру помещения этих зданий могут предназначаться для отдыха, прохода, приема пищи, занятий спортом и т. д., но в основном это все же помещения для работы, иногда требующей очень высокого зрительного напряжения. Иногда эти помещения подразделяют на три группы: помещения, где производятся зрительные работы при фиксированном направлении осей зрения; помещения, где работа сопровождается обзором помещения; помещения, где иной зрительной работы, помимо обзора, не производится.

Вопрос выбора системы освещения решается здесь несколько иначе, чем в производственных помещениях. Интересно начать с конкретного случая реконструкции освещения одной библиотеки. Ее читальный зал имел только местное освещение: на каждом читательском месте была укреплен настольная лампа. В целом помещение производило мрачное впечатление, и, хотя на поверхности книг была высокая освещенность, глаз испытывал определенные неудобства. После реконструкции была выполнена система одного общего отраженного освещения и часть читателей обратилась с жалобами к администрации на непривычное освещение, мешающее сосредоточиться на чтении. Общее освещение было, однако, сохранено, и при опросе через несколько месяцев читатели признали его преимущества. Местное освещение потребовалось лишь на единичных рабочих местах.

Помимо общегигиенических преимуществ общего освещения в общественных зданиях, в его пользу говорит тот факт, что даже в помещениях, отнесенных выше к первой группе, в той или иной

степени необходим обзор помещений. Кроме того, устройство местного освещения нередко затрудняется частыми перепланировками оборудования. Реже — в нашей практике, чаще — в зарубежной осуществляется перестановка перегородок, разделяющих отдельные помещения, что учитывается при устройстве модульной системы общего освещения.

Основным нормативным документом, регламентирующим устройство электрооборудования, и в том числе освещения, общественных зданий, является Инструкция по проектированию электрооборудования общественных зданий массового строительства ВСН 19-74 [34]. Для подавляющего большинства помещений в ней предусматривается в качестве основной система общего освещения.

Выборочно приводим значения освещенности (в люксах) для некоторых помещений:

Кабинеты, рабочие комнаты и т. д.	300
Чертежно-копировальное и проектно-конструкторское бюро	500
Машинописное и машинносчетное бюро; вычислительный центр	400
Читальный зал	300
Конференц-зал	200
Торговый зал (в зависимости от рода товаров) . . .	200—400
Лаборатория	300—400
Вестибюль и гардероб:	
в школе и центральной гостинице	150
в других учреждениях	75

Освещенность указана для освещения люминесцентными лампами и в случае применения ламп накаливания может быть снижена на две ступени по шкале освещенностей, приведенной в СНиП [1].

Во всех рабочих помещениях требуется предусматривать контактные разъемные соединения для возможности включения дополнительного местного освещения, которое может потребоваться на столах, неудачно расположенных по отношению к светильникам общего освещения, при выполнении работ с особой сложностью зрительной задачи (например, чтение старинных манускриптов), для работы слабовидящих и т. п.

В отдельных случаях местное освещение может играть значительную роль: в некоторых лабораториях, в лечебных учреждениях и т. д. Ниже рассматриваются способы освещения помещений, в которых рабочие поверхности обладают глянцем. Эти способы пригодны для помещений достаточной площади, если же площадь мала (например, машинописные бюро), то избежать отраженной блескости удастся, только применяя местное освещение.

Общественные здания, в частности административно-лабораторные, явились в свое время одним из первых объектов внедрения люминесцентного освещения и

именно от сотрудников этих зданий чаще всего поступали жалобы на это освещение. Они определялись, по-видимому, повышенной требовательностью работников умственного труда к устранению шума ламп ПРА, к ограничению пульсации освещенности, к выбору типа ламп (встречали осуждение лампы ЛТБ) и т. д. В настоящее время для основных, рабочих, помещений общественных зданий обязательность применения люминесцентных ламп твердо установлена Инструкцией ВСН 19-74 [34]. Для вспомогательных помещений лампы накаливания допускаются, однако на практике предпочитают применять на лестницах, в коридорах, санитарных узлах и т. п. такие же источники света, как и в основных помещениях, т. е. люминесцентные лампы. Лампы накаливания сохраняют, однако, значение для таких помещений, как бойлерные, вентиляционные камеры, кладовые, подвалы, т. е. для помещений, не посещаемых основным персоналом здания. Есть, однако, случаи, в которых Инструкция ВСН 19-74 предписывает применение ламп накаливания, как, например, спальные комнаты, изоляторы и помещения для заболевших в детских садах и яслях. Здесь, чтобы не мешать спящим и больным, требуется освещенность всего 30 лк.

Во многих помещениях общественных зданий повышенное значение имеет ограничение прямой и отраженной блескости, а также смягчение падающих теней. Если учесть к тому же, что стены и потолки в этих зданиях имеют светлую отделку, то становится ясным, какое значение приобретает здесь применение светильников, направляющих определенную часть светового потока в верхнюю полусферу, вплоть до светильников преимущественно или даже отраженного света. Надо сказать, что резкую разницу представляют собой уже помещения, освещенные такими светильниками, как УСП, с плоским рассеивающим стеклом, или светильниками ЛПО, с достаточно выпуклым рассеивателем. Инструкция ВСН 19-74 рекомендует применение светильников, направляющих в верхнюю полусферу не менее 15% светового потока, допуская исключение только для помещений, в которых поверхности нижней зоны (пол, обстановка) отражают не менее 30% света.

В некоторых случаях к светильникам предъявляются и специфические требования конструктивного характера; так, например, установленные над рабочими местами в помещениях для приготовления пищи светильники с лампами накаливания должны иметь сплошные защитные стекла, а светильники с люминесцентными лампами — защитные стекла или экранирующие решетки.

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ И ЧЕРТЕЖНО-КОПИРОВАЛЬНЫЕ БЮРО

Наряду с другими требованиями к освещению помещений, в которых выполняются весьма напряженные зрительные работы, особое значение имеет здесь необходимость смягчения падающих теней и, в наибольшей степени, устранения отраженной блескости.

Известно, что для конторских и графических работ жалательно, чтобы свет направлялся на рабочее место слева и несколько сзади, но вполне определенное направление света может быть достигнуто только при местном освещении. При общем освещении можно

приблизиться к этому направлению, если расположить светильники с люминесцентными лампами так, как это показано на рис. 7-4, причем левый на рисунке ряд светильников возможно ближе располагается к окнам или даже размещается в углу, образуемому стеной и потолком.

Часто считается, что освещение должно быть выполнено в соответствии с планировкой рабочих мест в помещении. В данном случае, как и во многих других, правильное освещение настолько важно для работы, что становится целесообразным, наоборот, подчинить расположение рабочих мест особенностям устройства осветительной установки.

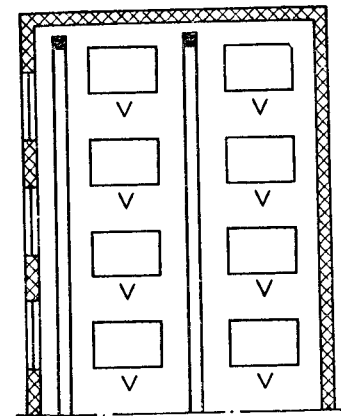


Рис. 7-4. Локализация светильников в помещениях конторского типа

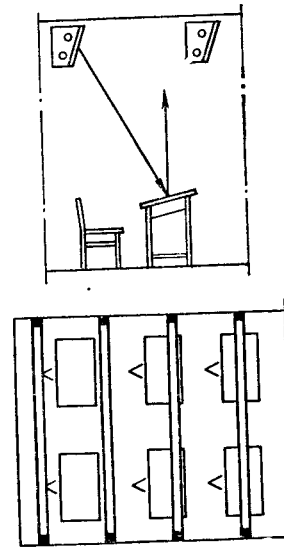


Рис. 7-5. Освещение столов для работы на кальке

Схема освещения, показанная на рис. 7-4, широко пропагандируется в зарубежной литературе. В нашей практике она часто заменяется несколько упрощенной схемой, когда в помещении шириной 6 м симметрично располагаются три сплошных продольных ряда светильников. Рабочие места и в этом случае должны быть расположены так, как показано на рис. 7-4.

В случаях когда опасность отраженной блескости особенно велика (работы на кальке), оптимальной можно считать схему освещения, показанную в плане и на разрезе на рис. 7-5. Светильники одностороннего светораспределения, желательно — с рассеивающим стеклом на выходном отверстии, располагаются поперечными рядами по всей ширине помещения и создают на рабочих местах заднебоковое направление света. Блики от рабочей поверхности в этом случае не попадают в глаза, и даже калька кажется матовой. Тени от корпусов работающих очень мягкие,

а освещенность в них снижена всего на 25%. Шаг полос в продольном направлении не должен находиться в каком-либо соответствии с расстоянием между столами, но ориентация всех работающих лицами в одну сторону, безусловно, обязательна. Для этой схемы выпускаются специальные светильники.

В больших и не слишком низких помещениях хорошие результаты дает также отраженное освещение, но если работы с создающими блики поверхностями производятся в помещениях небольшой площади (чаще всего — машинописные бюро), то уже сам яркий потолок может вызвать блики на клавишах, а так как другие, описанные выше способы освещения здесь также неприменимы, то часто приходится прибегать к местному освещению.

ПОМЕЩЕНИЯ МУЗЕЕВ И ВЫСТАВОК

Большинство наших музеев до сих пор размещено в старинных зданиях дворцового типа и при устройстве их освещения часто возникают споры: что, собственно, надо освещать? Дворцовые залы в соответствии с их архитектурой или экспонаты? Примирить эти противоречивые мнения весьма трудно. Ниже вопрос рассматривается с точки зрения освещения экспонатов и на основе утвержденных в 1973 г. Министерством Культуры СССР Рекомендаций по проектированию искусственного освещения музеев.

При устройстве освещения музеев необходимо обеспечить: ограничение разрушающего действия света на экспонаты; правильную цветопередачу;

достаточную, но не избыточную освещенность;

хорошую равномерность освещения;

отсутствие отраженной блескости («бликования» экспонатов).

Лучистая энергия разрушающе действует на многие вещества и, в частности, вызывает выцветание красителей. Материалы экспонатов по светостойкости разделяются на три группы:

1) высокая светостойкость: стекло, фарфор, эмаль, керамика, металлы, минералы, драгоценности;

2) средняя светостойкость: живопись маслом, натуральная кожа, дерево, слоновая кость, клеевые краски, лаки;

3) низкая светостойкость: акварель, пастель, темпера, ткани, чучела, бабочки, бумага (особенно — рукописи и фотографии).

Разрушающее действие излучений находится в обратной зависимости от длины волны излучений; оно наиболее сильно у ультрафиолетовых лучей, но проявляется и в коротковолновой части видимого спектра. Средствами защиты экспонатов являются правильный выбор источников света, установка перед экспонатами или перед светильниками специальных светофильтров, ограничение освещенности, кратковременность экспонирования, периодический отдых в запасниках, закрытие шторками, откидываемыми только при непосредственном осмотре.

Из применяемых в музеях источников света наименьшее разрушающее действие производят лампы накаливания обычных типов, незначительно большее — галогенные лампы накаливания и существенно большее — люминесцентные лампы. Поэтому для

экспонатов третьей группы люминесцентные лампы применяются в исключительных случаях, только для кратковременных выставок, при реставрационных работах или в установках, где свет попадает на экспонаты только после отражения от поверхностей, поглощающих ультрафиолетовые лучи.

Вопрос о цветопередаче при освещении музеев явился предметом многих исследований. Казалось бы, очевидно требование, чтобы искусственное освещение по своей цветности имитировало естественное, но в полном объеме это трудно выполнимо, к тому же само естественное освещение не есть что-то вполне определенное, так как его спектральный состав изменяется в зависимости от географической широты места, времени суток и года и состояния атмосферы. Вопрос о возможной и целесообразной степени приближения к естественному свету решается с учетом колорита экспонатов: свет, который хорош, например, для «Последнего дня Помпеи» Брюллова, может оказаться слишком теплым для «Девятого вала» Айвазовского. Можно считать, что наилучшую цветопередачу в данное время обеспечивает смесь излучений люминесцентных ламп ЛДЦ4 и кварцевых галогенных ламп накаливания КГ (примерно в равных долях по освещенности), если же не прибегать к смешению разных источников света, то первое место принадлежит люминесцентным лампам ЛЕ, второе — лампам КГ.

Среди экспонатов есть, однако, исключения: такие объекты, как изделия из золота и иконы, в прошлом преимущественно рассматривались при «теплом» освещении и при свете люминесцентных ламп выглядят непривычно. Для драгоценных камней люминесцентные лампы противопоказаны из-за их больших размеров, в силу которых исчезает «игра света» на гранях.

Освещенность экспонатов должна обеспечивать полное развитие цветоразличительной способности глаза и возможность различения мелких деталей, но ее уровень в ряде случаев ограничивается не только требованиями светозащиты, а еще и тем, что при больших освещенностях становятся видными следы времени на экспонатах, например трещины на картинах.

Для объектов первой группы светостойкости при наличии очень мелких деталей рекомендуется освещенность до 1000 лк, но уже для живописи маслом освещенность ограничивается значением 150 лк, а для экспонатов из бумаги — 50 лк.

Равномерность освещения имеет здесь не гигиеническое, а скорее психологическое значение, так как неправильное распределение яркости по поверхности картины может нарушить замысел художника.

Опытным путем выработаны рекомендации, чтобы для плоских вертикальных экспонатов при высоте до 1 м отношение наибольшей освещенности к наименьшей не превышало 2, а при большей высоте — 3, причем убывание освещенности должно происходить в направлении сверху вниз.

Задача ограничения отраженной блескости наиболее важна для вертикальных экспозиций на стенах и на стендах. Вопрос этот в общем виде рассмотрен в § 1-5, где рациональная схема освещения плоских экспозиций представлена на рис. 1-12. Расчеты показывают, что если высота фронта экспозиции h , то наиболее рационально разместить осветительные приборы на $(0,5 \div 0,7) h$ выше верха экспозиции и удалить от плоскости последней на такое же расстояние. Излишним является приближенное к плоскости размещение светильников — частая ошибка при освещении вертикальных поверхностей.

При размещении светильников в соответствии с приведенными рекомендациями нижние точки экспозиций геометрически получают многократно меньшую освещенность, чем верхние, и чтобы неравномерность осталась в допустимых пределах, должны приниматься такие светильники, сила света которых в направлении нижних точек в 5—10 раз больше, чем в направлении верхних точек.

В практике освещения музеев и выставок применяются все системы освещения. Естественно, что для универсальных выставочных залов основным является общее равномерное освещение; такое же освещение устраивается в музеях-дворцах, где основными экспонатами являются мебель и убранство. В картинных галереях предпочтительно локализованное освещение, хотя с успехом применяется также отраженное освещение и освещение световыми потолками. Многие объемные экспонаты, например диорамы, требуют встроенного освещения.

Подробные указания и рекомендации по устройству освещения в музеях содержатся в книге [35].

СПОРТИВНЫЕ СООРУЖЕНИЯ *

Можно сказать, что развитие массового спорта и прогресс техники искусственного освещения находятся в тесной взаимосвязи. Еще на памяти ныне живущего поколения соревнования, например, по футболу, происходили лишь в светлое время суток, сейчас же буквально все виды спорта полностью освобождены от зависимости от условий естественного освещения, т. е. от времени суток, а зрители, сидящие у своих телевизоров, разве что по характеру теней от спортсменов узнают о моменте включения искусственного освещения.

К освещению спортивных сооружений предъявляются высокие и разнообразные требования, различные для различных видов спорта. Создание вполне универсальных установок затруднительно и во всяком случае связано с программным управлением освещением в зависимости от происходящих соревнований.

Осветительные установки спортивных сооружений должны обеспечить возможность различения всех деталей игр, упражнений или соревнований как самими спортсменами, так и зрителями, нередко удаленными на большое расстояние. Пожалуй, однако, наиболее высоки требования судей, зрительную задачу которых можно считать наиболее ответственной.

* Вопросы освещения крытых и открытых спортивных сооружений имеют много общего и здесь рассматриваются совместно.

Устройство освещения спортивных сооружений регламентируется специальными нормами ВСН 1-73. Значения освещенности даны в нормах для газоразрядных ламп и могут быть снижены на одну ступень в случае применения ламп накаливания. Во многих случаях, кроме горизонтальной освещенности, нормируется также и вертикальная.

Для крытых спортивных сооружений значения горизонтальной освещенности лежат, в основном, в пределах от 150 лк (плавание, конный спорт, тяжелая и легкая атлетика) до 500 лк (фигурное катание, хоккей). Для открытых спортивных площадок в нормах преобладают значения 30—50 лк, но, например, для тенниса, хоккея с шайбой и плавания установлена норма 100 лк.

Существенно выше требования к освещению крытых и открытых спортивных арен с трибунами для зрителей. Так, в спортивных залах с трибунами более чем на 800 зрителей горизонтальная освещенность должна быть не менее 500 лк, а на открытых, в зависимости от вида соревнований и числа мест на трибунах, норма освещенности лежит в пределах 100—400 лк. Нормы освещенности могут быть с соответствующего разрешения повышены для сооружений союзного и республиканского значения. Нормы также не предусматривают ведения со спортивных объектов передач цветного телевидения; для этой цели необходима освещенность примерно 1000—1500 лк при преобладающем значении вертикальной освещенности и при очень высоких требованиях к равномерности освещения (примерно 1 : 1,5). Освещенность трибун для зрителей должна составлять не менее 50 лк в крытых залах и не менее 10% освещенности, нормированной для соревнований, — на открытых аренах. Значение коэффициента пульсации не должно превышать 20%.

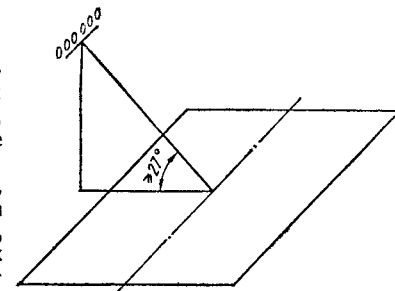


Рис. 7-6. Определение наименьшей высоты установки осветительных приборов для освещения спортивных полей

Большое значение при освещении спортивных сооружений имеет ограничение слепящего действия. Для закрытых залов показатель ослепленности не должен превышать 60 (см. нормы СНиП [1]); кроме того, требуется, чтобы при верхнебоковом освещении ось приборов концентрированного светораспределения была наклонена к вертикали под углом не более 40°. При таком же освещении открытых площадок высота установки приборов должна быть не менее 10 м и, кроме того, должна выбираться из условия, чтобы перпендикуляр, опущенный из светового центра приборов на продольную ось площадки, образовывал с ее плоскостью угол не менее 27° (рис. 7-6). Так, например, если расстояние между противоположными мачтами, освещающими спортивное поле, составляет 100 м, то высота этих мачт должна быть не менее $50 \cdot \operatorname{tg} 27^\circ = 25$ м. Практически применяются и большие высоты.

Светильники верхнего освещения открытых площадок должны иметь защитный угол не менее 30°.

С отраженной блескостью приходится считаться, в основном, лишь при освещении бассейнов, в которых, кроме плавания, производится соревнования по прыжкам в воду и водному поло. Здесь устройство верхнебокового освещения обязательно; в крытых же бассейнах может применяться также отраженное освещение. Вообще система отраженного освещения для крытых спортивных сооружений является в известной мере универсальной, но ее применение ограничивается низкой экономичностью и тем, что при этой системе получается слишком мягкое, неконтрастное освещение.

В небольших спортивных залах школьного типа освещение чаще всего выполняется люминесцентными лампами. Светильники или световые панели, защищенные от повреждения мячом, размещаются равномерно по поверхности потолка или в два ряда вдоль продольных стен (на торцевых стенах во всех случаях устанавливать осветительные приборы не следует). Одним из оптимальных способов освещения является установка вдоль продольных стен световых панелей с наклонной рассеивающей поверхностью (рис. 7-7).

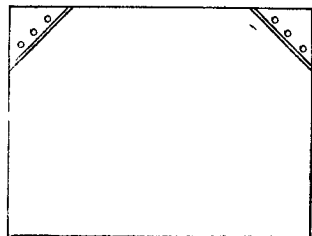


Рис. 7-7. Вариант освещения спортивного зала

Для больших залов с трибунами применяются и описаны в литературе самые разнообразные способы освещения и, по-видимому, пока нет оснований считать какой-либо из них предпочтительным. Так, есть примеры освещения люминесцентными лампами через рассеивающий или решетчатый потолок, верхнего освещения светиль-

никами прямого света с обычными лампами накаливания, зеркальными лампами и лампами ДРЛ, отраженного освещения светильниками с лампами ДРИ, установленными на близком (0,9 м) расстоянии от потолка и т. д.

И все же преобладающей можно считать в мировой практике систему верхнебокового освещения со стороны продольных стен, причем большие размеры залов заставляют применять здесь приборы концентрированного светораспределения, нередко со специально рассчитанными профилями отражателей и с мощными лампами типов ДРИ и КГ.

Лампы типов ДРИ и КГ (наряду, конечно, с люминесцентными лампами) вполне благоприятны для передач цветного телевидения.

Относительно в большей степени типизированы установки освещения открытых спортивных полей. Слепящее действие источников света определяется, в числе других причин, вероятностью попадания их в поле зрения, и если сравнить случаи, когда определенное количество прожекторов сосредоточено на немногих мачтах или когда оно распределено между большим числом мачт, то независимо от определяемого расчетом значения показателя ослепленности (а может быть, даже вопреки этому значению) второй случай, при котором вероятность попадания прожекторов в поле зрения

больше, чем в первом, будет оценен как менее благоприятный в отношении ослепленности (см. также § 7-5).

Классической, можно сказать, схемой освещения полей для футбола и легкой атлетики является четырехмачтовая система (рис. 7-8, а), когда мачты располагаются с некоторым сдвигом за линию ворот, чтобы, не слепя вратаря, обеспечить ему различение мяча. Возможность приближения мачт к игровому полю обычно ограничивается трибунами, поэтому, чтобы при данной высоте мачт уменьшить слепящее действие и улучшить соотношение между вертикальной и горизонтальной освещенностью в пользу последней, иногда мачты изгибаются в сторону поля. Недостатком такого способа освещения являются резкие тени от игроков, за каждым из

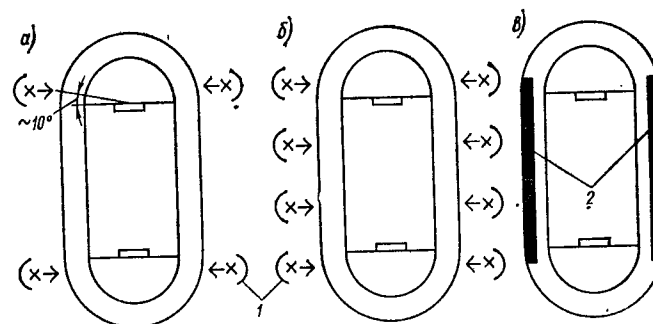


Рис. 7-8. Варианты освещения футбольных полей
1 — прожекторные мачты; 2 — прожекторы на козырьке над трибунами

которых при его перемещении по полю следует «крест теней». Тени смягчаются при многомачтовой системе освещения и вовсе исчезают, когда при устройстве над трибунами козырьков прожекторы рассредоточиваются вдоль последних (рис. 7-8, б и в). Соответственно ухудшаются условия слепящего действия вследствие уменьшения высоты установки прожекторов, а в последнем случае наблюдается своеобразный эффект исчезновения мяча, когда он виден для игрока на фоне ряда прожекторов.

Во всех случаях для освещения полей следует применять источники света высокой единичной мощности — в основном лампы типа ДРИ. Ксеноновые лампы мало экономичны и имеют некоторые другие недостатки.

Типовые схемы освещения существуют также для других открытых спортивных площадок: теннисных, волейбольных и т. д. Здесь допустимо и верхнее освещение при высоте установки приборов не ниже 12 м для волейбола и тенниса и 6 м — для хоккея, но все же предпочтительным является верхнебоковое освещение кососветами, наклонными светильниками или зеркальными лампами. Рекомендуемые варианты размещения не вполне уни-

версальны и несколько различаются для различных видов спорта.

Способы и приемы освещения различных спортивных объектов более подробно описаны в книге [36].

ЛЕЧЕБНЫЕ УЧРЕЖДЕНИЯ

Техника искусственного освещения лечебных учреждений переживает в последние годы своеобразный, можно сказать — кризисный, период, связанный с разработкой и внедрением новых нормативных документов и с запаздыванием здесь внедрением люминесцентных ламп.

Несомненно, что в современных условиях и с учетом тех высоких требований, которые предъявляются к уровням освещенности и качеству освещения, люминесцентные лампы должны быть здесь основными источниками света, между тем их применение многие годы ограничивалось Министерством здравоохранения.

Этому имеется две причины. Одним из основных объектов различения в лечебных учреждениях является кожа людей, а именно цвет кожи недостаточно хорошо передается при освещении люминесцентными лампами. Как посинение кожи («синюшность»), так и ее покраснение может быть причиной ошибочного диагноза, а синюшность, кроме того, оказывает на самих больных отрицательное психологическое воздействие. Вторая причина — это шум пускорегулирующих аппаратов, который долгое время не удавалось устранить и который здесь более недопустим, чем где бы то ни было.

Предпосылкой для внедрения в освещение лечебных учреждений люминесцентного освещения явилось как освоение бесшумных ПРА (исполнение ВПП), так и разработка люминесцентных ламп нового типа ЛХЕ. Лампа ЛХЕ-40 имеет световой поток 1930 лм, цветовую температуру 5100 К и общий индекс цветопередачи 93. Коэффициент пульсации ее потока составляет 60—70 %, что, кстати, создает трудности, так как даже при двухламповых схемах не может быть обеспечен нормированный коэффициент пульсации освещенности, составляющий 10 %.

Повышенные требования предъявляются в лечебных учреждениях к ограничению дискомфортной яркости не только в силу ответственности зрительных задач медицинского персонала, но и в силу того, что оси зрения могут здесь принимать различное положение, а например, в палатах преимущественно направлены вверх.

Светильники здесь должны иметь ограниченную яркость, и некоторыми специалистами признается чрезмерной даже такая габаритная яркость, как 2000—3000 кд/м². Кроме того, конструкция светильников должна не допускать скопления пыли и обеспечивать легкое ее удаление. Светильники, применяемые в лечебных учреждениях, должны выбираться в пределах перечня, согласованного с Министерством здравоохранения, но пока такого перечня нет. Из существующих светильников можно считать относительно приемлемыми потолочные светильники с замкнутыми рассеивателями из молочного органического стекла.

Наиболее характерны для лечебных учреждений три группы помещений: кабинеты врачей, палаты и операционные.

В кабинетах врачей общее освещение должно создавать освещенность 200—300 лк (при лампах накаливания 100—150 лк) и дополняться местным освещением стола врача и места осмотра больных. Последнее в ряде случаев можно считать технологическим в том отношении, что оно специализировано по назначению кабинета и нередко входит в комплект медицинского оборудования.

Освещение палат состоит из четырех функциональных частей: общее освещение должно обеспечивать максимум не только зрительного, но и психологического комфорта для больных, а чтобы их не утомлять, — должно создавать относительно невысокую освещенность 75 лк (при лампах накаливания 30 лк);

местное освещение необходимо для того, чтобы больные в постели могли читать, вязать и т. д., причем не мешая соседям по палате;

освещение для осмотра больных должно обеспечить зрительную работу медицинского персонала;

ночное освещение должно обеспечить возможность ориентации в палате при выключении всех других видов освещения, не нарушая сна больных, оно выполняется маломощными светильниками, установленными вблизи пола, у входной двери.

Одним из возможных способов освещения палат является установка над изголовьем каждой койки комбинированных настенных светильников с отдельными лампами для общего отраженного освещения и для местного освещения. Первая из этих ламп — люминесцентная, в качестве второй хотя и применяются люминесцентные лампы, но предпочтительны лампы накаливания, так как при единственной лампе местного освещения не может быть снижен коэффициент пульсации.

В зарубежной практике применяются, а у нас разрабатываются специальные настенные прикроватные устройства, известные под названием «консолей» и являющиеся своего рода электромедицинским комбайном. В них встраиваются устройства для общего, местного, ночного и осмотрового освещения, для вызова медицинского персонала, для телефонной связи, наконец для радио и телевидения.

В операционных, помимо общего освещения (400 лк — при люминесцентных лампах и 200 — при лампах накаливания), необходимо местное освещение операционного поля, к которому предъявляются совершенно специфические требования: освещенность должна достигать 20—30 клк (в некоторых случаях — до 100 клк), освещение должно быть регулируемым по силе и направлению, нагрев операционного поля должен быть ограничен применением теплозащитных фильтров. Одно из главных требований состоит в том, что для исключения теней от рук оперирующего и обеспечения вертикальной освещенности всех поверхностей световой поток должен быть направлен на поле со всех сторон. В малых операционных для этого служат специальные светильники с отражателем больших размеров, в больших операционных — составные светильники из многих ламп с индивидуальными зеркальными отражателями, одна из конструкций которых показана на рис. 7-9.

В конструкцию подобных светильников могут входить устройства для фотографирования и даже для телесъемки. Освещенность операционной зоны достигает значений, при которых белые ткани становятся слепящими, и персоналу приходится иногда применять темные халаты.

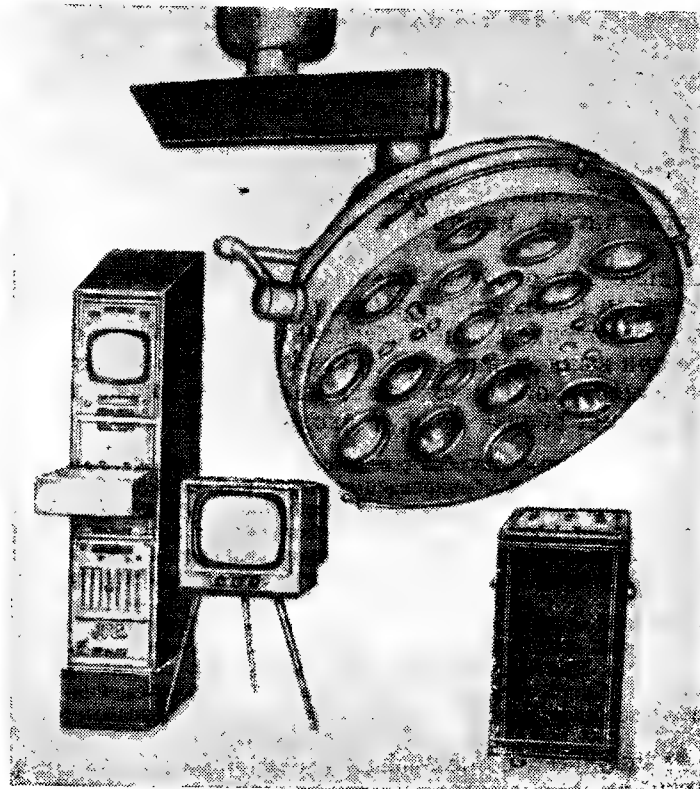


Рис. 7-9. Хирургический светильник «Свет-15»

Как другую светотехническую крайность, встречающуюся при освещении лечебных учреждений, можно упомянуть, что в рентгеновских кабинетах, помимо обычного общего освещения, устраивается «адаптационное» освещение, с освещенностью всего 3 лк.

Достаточно полные и подробные сведения по устройству осветительных установок в больницах, поликлиниках, лечебно-профилактических и других аналогичных объектах содержатся в книге [37].

7.4. АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Термин архитектурно-художественное освещение является в известной степени спорным и неточным. Здесь он условно применяется к осветительным установкам, в которых превалирующее значение имеют эстетические требования к освещению интерьера. В известной степени эти требования должны, конечно, учитываться и при освещении рабочих помещений, т. е. при так называемом рациональном или утилитарном освещении, но там они имеют подчиненное значение и должны соблюдаться постольку, поскольку они не идут в ущерб экономике и качеству освещения. Так, в помещениях удлиненной формы в большинстве случаев наиболее рационально размещать люминесцентные светильники продольными рядами, и если архитекторы требуют устройства поперечных рядов, вызывающих психологический эффект сокращения длины, то с этим не следует считаться (эта точка зрения подтверждена Госстроем СССР).

Проблема архитектурно-художественного освещения распадается на две основные части: распределение яркости (а иногда также цветности) по поверхностям помещения и внешний вид осветительных устройств как элемент оформления интерьера.

Первая задача решается, в основном, художником или архитектором. Средствами светотехники можно создать эффект приближения или удаления поверхностей, изменения их размеров, увеличения или уменьшения кривизны свода, «отрыва» одной поверхности от другой, создать впечатление торжественности или праздничности. Всеми этими эффектами управляют определенные закономерности, здесь не рассматриваемые.

Вторая задача решается архитектором и светотехником совместно, чаще всего на основе одного из трех принципов:

1) осветительные приборы выполняются как органическая часть остального оформления интерьера;

2) осветительные приборы должны иметь подчеркнутый утилитарный характер;

3) осветительные устройства, по возможности, не должны быть видны вообще.

Два последних принципа реализуются, в частности, в случаях, когда освещаются уникальные, охраняемые государством помещения старинных зданий, если отсутствуют специально для них предназначенные осветительные приборы, так как большинство архитекторов считает своего рода кощунством попытку «украсить» эти помещения современными изделиями или подделкой под стиль прошлого.

Из неограниченно разнообразных технических возможностей устройства архитектурно-художественного освещения здесь могут быть рассмотрены лишь некоторые наиболее распространенные.

В эпоху свечного освещения были широко распространены многосвечевые люстры и канделябры. Значительная часть их сохранилась, приспособлена для свечеобразных ламп накаливания и является неотъемлемой принадлежностью интерьера, хотя далеко не обеспечивает современных норм освещенности. Часто удается в чашах этих люстр или в части рожков установить почти незаметные для посетителей мощные лампы накаливания, например зеркальные лампы, направленные в сторону потолка, и получить необходимую освещенность. В других случаях люстры сохраняются

как декоративный элемент, основная же часть освещенности создается одним из способов отраженного освещения.

Для зданий нового строительства нередко и сейчас разрабатываются новые люстры, настенные светильники и т. д., хотя эти осветительные устройства сейчас не являются наиболее распространенными. Лампы накаливания помещаются в разного рода рассеиватели («тюльпаны») или чаши из молочного, матированного и других сортов стекла. Люминесцентные лампы заключаются в стеклянные цилиндры или же их линейная форма маскируется надеваемыми на них манжетами из светорассеивающих материалов.

Средствами архитектурно-художественного освещения могут быть и светильники (потолочные, подвесные, настенные, напольные) как типовые, так и изготавливаемые по индивидуальным заказам. Определенный художественный эффект может быть достигнут уже самим способом расположения светильников. Например, одноламповые люминесцентные светильники с рассеивателем из органического стекла могут размещаться вертикально на стенах и в простенках, отдельными «свечами» или группами, располагаться по контуру архитектурных линий помещения, образовывать определенные фигуры на потолке и т. д.

Вполне современным решением являются «звездочки», т. е. утопленные в потолок и расположенные в определенном порядке или хаотично светильники с зеркальными лампами накаливания, закрытые снизу диффузным стеклом или концентрическими металлическими кольцами.

Большая группа возможных и интересных решений относится к области отраженного освещения. Основным недостатком последнего является повышенный расход энергии; кроме того, оно отличается некоторой монотонностью, для устранения которой нередко дополняются небольшим числом открыто установленных светильников, и, сильно смягчая собственные тени, несколько скрадывает рельеф архитектурных деталей или деталей на рабочей поверхности. Последнее обстоятельство не имеет, однако, решающего значения. Отраженное освещение можно считать противопоказанным в помещениях небольшой высоты, когда большая яркость последних создает давящее впечатление. Очевидной предпосылкой для устройства отраженного освещения являются высокие коэффициенты отражения поверхностей верхней части помещения, хотя иногда возникает необходимость применить такое освещение и при потолке, отражающем не больше 30% света.

Отмеченные недостатки отраженного освещения часто окупаются и перекрываются такими его достоинствами, как возможность осветить помещение скрытыми источниками света, высокой равномерностью, полным отсутствием прямой и почти полным отсутствием отраженной блескости, сильно смягченными падающими тенями и т. д.

На рис. 7-10 схематично показаны некоторые способы устройства отраженного освещения. Классическим способом являются

световые карнизы *a*. Предпосылкой для их применения является наличие или возможность устройства в помещении строительных карнизов при их определенных размерах и расположении. Размеры определяют необходимую разместить определенное число ламп (причем люминесцентные лампы располагаются обычно в несколько «ниток») при соблюдении условия, чтобы для лиц, находящихся в наибольшем удалении от карниза, не были видны никакие части ламп и чтобы кромка карниза не экранировала удаленные участки потолка от прямого света ламп. Положение карниза в помещении определяется тем, что если требуется получить приемлемую равномерность яркости потолка или свода в поперечном направлении, то отношение $B : h_c$ не должно превышать 5 — при двухсторонних карнизах или 2 — при одно-

сторонних. При полусферических или полуцилиндрических сводах эти соотношения не ограничиваются. При плоских потолках они могут в случае необходимости несколько увеличиваться, при установке в карнизах зеркальных ламп накаливания или при устройстве зеркальных же вставок за лампами, направляющих свет к удаленным точкам потолка.

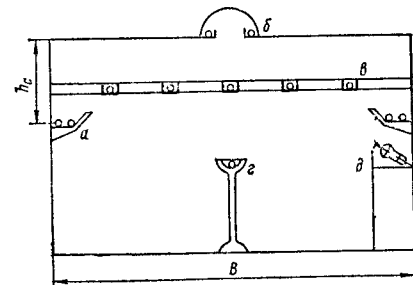


Рис. 7-10. Способы устройства отраженного освещения

Очень неприятное впечатление производят карнизы, на стене вдоль которых имеют место перепады яркости («зебрисость»), позволяющие посетителю различать места установки отдельных ламп. Для устранения «зебрисости» лампы накаливания должны вдоль карниза располагаться так, чтобы расстояние между нитями соседних ламп не превышало 1,5 (как максимум 1,7) их расстояния от стены. Люминесцентные лампы должны размещаться сплошными рядами, без разрывов, на расстоянии не менее 125—150 мм от стены, причем при использовании нескольких «ниток» концы ламп соседних рядов должны быть взаимно смещены в продольном направлении на 75—100 мм. Для достижения высокого коэффициента полезного действия карниза он, при соблюдении всех указанных требований, должен быть по возможности плоским и все находящиеся внутри и него поверхности должны быть белыми.

При расчете карнизного освещения проводится условный потолок на уровне карниза и по формуле (3-32) определяется его приведенный коэффициент отражения. Соответственно этому коэффициенту и индексу помещения определяется коэффициент $k_{п.р.}$, после чего необходимый поток ламп находится по формуле

$$\Phi = \frac{EkS}{\eta_k k_{п.р.}},$$

где E — освещенность, лк, k — коэффициент запаса; S — площадь помещения, м², η_k — к. п. д. карниза, обычно принимаемый равным примерно 0,6 для ламп накаливания и люминесцентных ламп и 0,8 — для зеркальных ламп.

Карнизы могут устраиваться не только вдоль стен помещения, но и по балкам, ограничивающим отдельные кессоны потолка или вокруг куполообразных ниш в потолке (рис. 7-10). Разновидностью карнизного освещения является также установка ламп в пазухах капителей колонн.

Очень интересное, эффектное решение достигается применением для установки ламп отраженного света в системы пересекающихся подвесных желобов (рис. 7-10). Равномерно освещенный потолок над желобами производит иллюзию открытого неба.

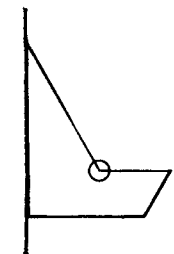


Рис. 7-11. Настенный светильник отраженного света

Пожалуй, незаслуженно редко для отраженного света применяются напольные светильники g (рис. 7-10). Оформление их внешних частей целиком подчиняется архитектурному замыслу, внутренность же чаши может быть использована для установки ламп или светильников необходимого светораспределения.

Нередко обстоятельства заставляют искать такие способы освещения интерьера, чтобы в него вообще не вносилось видимых инородных предметов. В этих случаях светильники или зеркальные лампы d могут быть скрыто установлены на шкафах (рис. 7-10), старинных каминах и т. п.; желоба для установки ламп могут быть выполнены как естественное архитектурное завершение выставочных стендов и т. д.

Галогенные лампы накаливания КГ могут использоваться для отраженного освещения как в подвесных светильниках с непрозрачной или густой светорассеивающей нижней поверхностью, так и в настенных светильниках — своего рода коротких локальных карнизах (рис. 7-11). Известны случаи, когда в помещениях, находящихся под охраной государства, прежнее освещение не сохранилось, а создание новых осветительных приборов, соответствующих оформлению интерьера, было невозможным. Задача была решена установкой вдоль стен с интервалом, соответствующим шагу окон, таких коротких карнизов, незаметно вписавшихся в интерьер. Представленная на рис 7-11 конструкция выполнена из алюминия, нижняя поверхность — диффузная, задняя стенка — зеркальная, форма торцевых стенок обеспечивает горизонтальность границы светотени на стене, что является немаловажной деталью.

Довольно распространенное в настоящее время решение, известное под названием «жабры» или «падуги» в зависимости от особенностей устройства может давать как отраженное (рис. 7-12, а), так и прямое (рис. 7-12, б) освещение. Жабры (падуги) размещаются поперек потолка; под лампами иногда делается ряд круглых отверстий, оживляющих вид помещения; установка светильников, дающих направленное освещение, возможна лишь в конференц-залах и зрительных залах при определенной ориентации осей зрения посетителей.

Следующая группа осветительных устройств, используемых для архитектурно-художественного освещения, это более или менее значительные по площади поверхности, светящиеся пропущенным светом ламп. Сюда относятся световые потолки, потолочные или стенные панели, искусственные окна, полосы и т. д.

Рассмотрим подробнее устройство световых потолков, поскольку в других перечисленных элементах используются, в основном, те же принципы. Световые потолки выполняются по двум

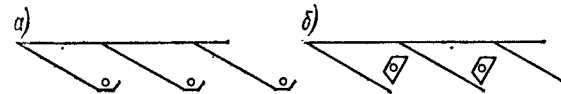


Рис. 7-12. Варианты освещения с помощью «жабр» («падуг»)

основным схемам: или над светопроницаемой плоскостью потолка имеется большое свободное пространство «технического этажа» — рис. 7-13, а (в этом случае потолок нередко используется также для естественного освещения), или эта плоскость подшивается на незначительном расстоянии от строительного потолка (рис. 7-13, б), так что между обоими потолками образуется «техническая полость». В первом случае люминесцентные лампы, которые почти исключительно применяются для световых потолков, устанавливаются

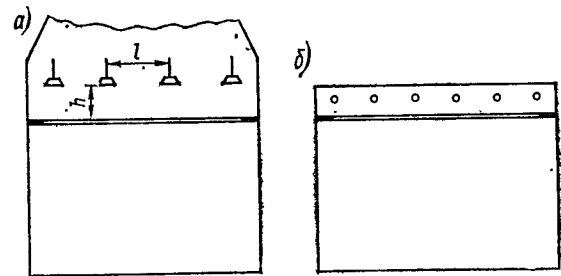


Рис. 7-13. Световые потолки

в обычных или специальных светильниках прямого света, во втором случае внутренние поверхности полости выполняются хорошо отражающими и лампы устанавливаются открыто, что повышает коэффициент использования светового потока и способствует выравниванию яркости поверхности потолка.

Обычно основным критерием качества потолков является именно равномерность их яркости, при этом практически невозможно различать места установки отдельных ламп или светильников.

Это достигается прежде всего выбором для светопроницаемой поверхности потолка материалов с достаточной степенью рассеивания света. Плоское молочное силикатное стекло получить почти невозможно, а его ломкость делает этот материал нежелательным.

Основным материалом для световых потолков служит поэтому молочное светотехническое органическое стекло, но его горючесть заставляет рассматривать пространство над потолком как пожароопасную зону. Еще лучшими являются специальные рулонные пленочные материалы, диффузно рассеивающие, негорючие, плоские, иногда волнистые, что оживляет вид потолка.

В существующих зданиях нередко возникает желание выполнить световой потолок на основе уже имеющегося остекления. Это возможно только после опытного опробования, так как подавляющее большинство сортов стекла не обладает необходимой степенью диффузности.

У нас пока не применяются, но за рубежом широко распространены, световые потолки из призматических пластических материалов. Призматическая поверхность (со стороны помещения) позволяет придать светораспределению элементов таких потолков необходимый характер, в частности уменьшить их яркость в сильно наклонных направлениях, что существенно, поскольку при очень высоких освещенностях яркость диффузных потолков может вызывать ослепленность. Другим способом борьбы с ослепленностью является устройство ребристых световых потолков (рис. 7-14), при которых высокие строительные балки образуют достаточный защитный угол.

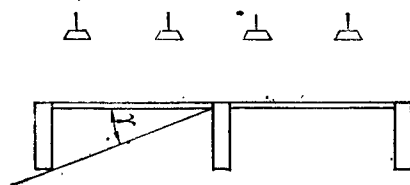


Рис. 7-14. Ребристый световой потолок

В ряде случаев в качестве светопропускающей поверхности потолков используются экранирующие решетки («люверсы»), о которых подробнее сказано ниже. Для решеток рекомендуется защитный угол 45° , т. е. при квадратных ячейках высота планок должна быть равна стороне ячейки.

Помимо выбора материала, равномерность яркости светового потолка обеспечивается определенным соотношением размеров l и h (рис. 7-13). При потолках из рассеивающих материалов рекомендуется, чтобы значения $l : h$ не превышали при использовании открытых люминесцентных ламп 2,4 (1,4), для тех же ламп в светильниках с косинусным светораспределением в поперечной плоскости — 1,8 (1,2), для зеркальных ламп накаливания с глубоким светораспределением — 0,9 (0,7). Значения в скобках обеспечивают полную равномерность яркости, вне скобок — допустимую степень неравномерности. При экранирующих решетках с квадратными ячейками то же отношение рекомендуется принимать равным котангенсу защитного угла.

В связи со сказанным надо отметить, что не при всякой возможной высоте светильников или ламп над потолком и не при любых значениях освещенности возможно вообще устройство световых потолков по всей площади помещения. Если освещенность невелика, а высота установки ламп над световым потолком ограничена, то число ламп, определенное по условиям равномерности яркости, может значительно превысить количество, необходимое для получения заданной освещенности. В таких случаях возможна замена сплошных потолков отдельными световыми панелями.

Расчет освещения от световых потолков из светорассеивающих материалов с установленными над ними светильниками по ме-

тоду коэффициента использования производится по следующей схеме.

Пусть поток установленных ламп Φ (в люменах). Рассматривая пространство над потолком как самостоятельное помещение, обычным путем определяем коэффициент использования потока ламп относительно поверхности потолка η_r . Тогда на поверхность потолка падает поток $\Phi \eta_r$, а в помещение проникает поток $\Phi \eta_r \tau$, где τ — коэффициент пропускания остекления (обычно 0,6—0,7) и σ — определяемое по конструктивному чертежу потолка отношение светопропускающей площади потолка к полной.

По индексу помещения i и коэффициентам отражения его поверхностей определяется коэффициент $k_{п.р}$ и делится на коэффициент отражения потолка, который можно принять равным 0,3, так как речь идет об использовании потока, не падающего на потолок, а излучаемого им.

Тогда полезный поток составит $\Phi \eta_r \tau \sigma \frac{k_{п.р}}{0,3}$ и создаст на расчетной плоскости освещенность

$$E = \frac{\Phi \eta_r \tau \sigma k_{п.р}}{0,3S},$$

где S — площадь помещения, m^2 .

Коэффициент z можно считать равным единице. Решая это уравнение относительно Φ , можно подобрать необходимое число, мощность и расположение ламп.

Когда над потолком располагаются открытые лампы в полости с хорошо отражающими поверхностями (что особенно часто встречается при устройстве отдельных световых панелей), точный расчет затруднителен, а опытное определение коэффициента полезного действия устройства редко возможно. Практически значение этого коэффициента можно считать близким к 0,5, а дальше при расчете поступать так, как указано выше и как рассмотрено в гл. 3.

Другие световые элементы (панели, окна, полосы и т. д.) выполняются на тех же основаниях, которые выше рассмотрены для световых потолков, с той разницей, что для элементов, расположенных в вертикальной плоскости, исключается применение экранирующих решеток, так как в этом случае они не защищают глаз от прямого света ламп. Если световые окна не используются одновременно для естественного освещения (что имеет место, например, в подземных сооружениях), то они могут устраиваться и по принципу отражения света от их задней, белой поверхности. Остекление в этом случае производится прозрачным стеклом, а переплет выполняется в виде желобов, в которых устанавливаются лампы.

Специально об экранирующих решетках надо сказать, что, помимо своего чисто утилитарного назначения — создавать защитный угол, они в последнее время приобретают все большее значение также в качестве декоративного элемента.

Классическим материалом для экранирующих решеток является органическое стекло, сочетающее в себе высокие светотехниче-

ские характеристики с легкостью обработки и отсутствием необходимости рихтовки планок, но применяются также решетки из алюминия или других металлов, натуральных или окрашенных. Из пластических масс путем штамповки изготавливаются также наборные фигурные элементы решеток, легко соединяемые в поверхности необходимой площади с помощью соответствующих выступов и пазов.

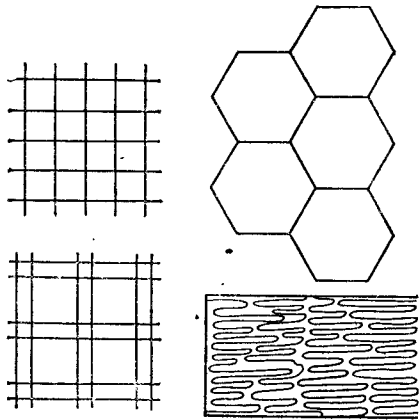


Рис. 7-15. Экранирующие решетки

Призванный обзор, охватывая лишь незначительную часть приемов архитектурно-художественного освещения, показывает все же, сколь неограниченные возможности для творчества архитектора и светотехника имеются в этой области.

Более подробные сведения по архитектурному освещению можно получить в книге [38].

7-5. ОСВЕЩЕНИЕ ОТКРЫТЫХ ПРОСТРАНСТВ

Освещение открытых пространств отличается от внутреннего освещения рядом существенных особенностей.

Во многих случаях здесь также нормируется наименьшая освещенность, но, например, для улиц и дорог в пределах населенных пунктов, где основной задачей водителей транспорта является различение препятствий на пути движения, нормируемым показателем является средняя яркость дорожного покрытия, а для пешеходных путей — средняя освещенность.

Для внутреннего освещения ограничение неравномерности освещения является второстепенной задачей, для наружного же — достаточно важной. Это обусловлено тем, что здесь экономически оправданы значительные расстояния между светильниками, и если не ограничивать неравномерность, то могут быть приняты варианты, неприемлемые по качеству освещения.

Для территорий предприятий и населенных пунктов обязательным является централизованное, обычно — дистанционное, уп-

равление освещением из одного или немногих пунктов хотя бы потому, что в современных условиях нельзя рассчитывать на своего рода «фонарщики» (как это было до появления электрического освещения), дважды в день обходящих улицы.

В наружном освещении различается освещение светильниками (иногда называемое «фонарным» освещением) и прожекторами. Эти два способа освещения в какой-то мере являются конкурирующими, причем каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, нередко проявляющиеся индивидуально, в зависимости от характера объекта освещения. Так, считается, что прожекторное освещение создает повышенную ослепленность по сравнению с фонарным. Но, например, при освещении небольших открытых подстанций, где при использовании прожекторов достаточно иметь две мачты, персонал при обслуживании аппаратов может выбрать такое положение, чтобы прожекторы не попадали в поле зрения, тогда как при освещении светильниками это не удастся, так как их приходится в большем числе рассредоточивать по площади подстанции.

Нельзя сказать в общем виде, какой способ освещения является более экономичным. Если отвлечься от реальных условий и представить себе двухмерную площадь, которую требуется осветить равномерно и в пределах которой не ставится никаких ограничений размещению осветительных приборов, то преимущества будут на стороне фонарного освещения: коэффициент полезного действия светильников выше, чем прожекторов, и с их помощью можно получить более равномерное освещение. Однако именно возможность свободного размещения осветительных приборов имеется далеко не всегда; нельзя устанавливать опоры на площади футбольного поля, равно как практически исключается подвеска над этим полем светильников на тросах, на недоступной для мяча высоте. Карьеры, акватории, многие открытые склады и т. д. являются объектами, где размещение светильников невозможно или жестко ограничено, и чаще всего этот признак предопределяет выбор прожекторного освещения.

К числу недостатков прожекторного освещения можно отнести сравнительно резкие тени, к числу преимуществ — легкость создания высоких вертикальных освещенностей.

В последнее время намечается тенденция к расширению применения прожекторного освещения по чисто эксплуатационным соображениям. Опоры для светильников и тросы для их подвески в какой-то степени являются препятствиями для транспортных средств, особенно для погрузочных механизмов с длинными стрелами. Жалобы предприятий на повреждение тросов носят массовый характер, а наезды автомашин на опоры являются распространенным видом дорожно-транспортных происшествий. Работники эксплуатации считают также, что сосредоточенная установка прожекторов на ограниченном числе мачт уменьшает трудозатраты по их обслуживанию по сравнению с фонарным освещением, хотя надо сказать, что сами по себе прожекторы требуют более квалифицированного ухода, чем светильники.

Устанавливаются ли светильники на опорах или подвешиваются на тросах, всегда капитальные затраты на установку светильников вне зданий относительно высокие, что делает оправданным их раз-

мещение на расстояниях, существенно превышающих светотехнически или энергетически наивыгоднейшие, и типовые варианты их размещения часто основываются на минимуме приведенных годовых затрат (§ 8-4). По совокупности всех условий (экономическая оптимальность, эстетика, безопасность, ограничение ослепленности) высота установки светильников выбирается в пределах 6—10 м, за исключением декоративных светильников в парках, у входов в здания и др. При заданной степени неравномерности с увеличением высоты установки может быть увеличен пролет, в силу чего в последние годы в зарубежной литературе пропагандируется «высокомачтовая» система освещения, при которой светильники уста-

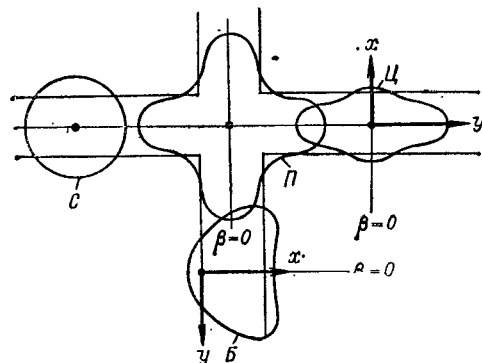


Рис. 7-16. Типичные формы изолюкс светильников для улиц

узких полос, и в этом случае становятся целесообразными светильники несимметричного светораспределения, достигаемого с помощью призматической или зеркальной оптики. На рис. 7-16 четыре характерных типа светораспределения светильников показаны формой изолюкс горизонтальной освещенности: *С* — симметричное светораспределение, *П* — светильники для площадей и перекрестков, *Ц* — светильники для центрального подвеса над осью освещаемой полосы, *Б* — светильники для боковой установки на краю полосы. На рисунке показаны также направления, от которых ведется отсчет азимутальных углов β .

Светораспределение прожекторов имеет различный характер в зависимости не только от особенностей их оптической системы, но и не в меньшей степени от типа применяемых источников света. Известно, что достижимая оптическими средствами степень концентрации светового потока в определенной плоскости тем выше, чем меньше размеры светящего тела в сечении данной плоскостью.

Соответственно наименьшую степень концентрации при светораспределении, обычно близком к симметричному относительно оптической оси, имеют прожекторы с лампами типа ДРЛ. По сравнению с другими типами прожекторов они менее чувствительны к точ-

ной фокусировке лампы, дают можно сказать, мягкое неслепящее освещение, но эффективны только на расстояниях до объекта освещения, не превышающих примерно пятикратной высоты установки.

Значительно большую концентрацию потока дают прожекторы с трубчатыми лампами: галогенными лампами накаливания типа КГ и ксеноновыми лампами типа ДКсТ, но форма этих ламп ведет к резкой асимметрии светораспределения относительно оси прожектора, так что кривая силы света в вертикальной плоскости оказывается весьма узкой, а в горизонтальной плоскости — относительно широкой. Так для прожекторов ПКН исполнения 1, имеющих гладкий отражатель, угол рассеяния в горизонтальной плоскости примерно в 5 раз больше, чем в вертикальной. Естественно, что чем в меньшем угле распределяется световой поток, тем большая может быть достигнута осевая сила света и, соответственно, радиус действия (понятие, кстати, весьма условное), но очень малые углы рассеяния в вертикальной плоскости могут привести к тому, что на небольших расстояниях и при значительных углах наклона световой пучок не «размажется» и в направлении вдоль проекции оси прожектора будет освещена лишь узкая полоса. Поэтому следует предпочесть для прожекторов ПКН исполнения 2, имеющее волнистый отражатель. Трубчатые лампы занимают в прожекторах жестко фиксированное положение и не требуют фокусировки, что можно считать преимуществом.

Наибольшую концентрацию потока при светораспределении, близком к симметричному относительно оси, дают прожекторы с лампами накаливания обычных типов или с металлогалогенными лампами типа ДРИ. Для специальных целей, например для освещения фасадов, эти прожекторы могут применяться со специальными стеклами, увеличивающими угол рассеяния в горизонтальной плоскости.

Высокая концентрация потока прожекторов с «точечными» лампами требует точной фокусировки, что является сложной, а при стремлении заводов к примитивизации фокусирующего устройства иногда и невыполнимой задачей.

К семейству прожекторов примыкают и светильники СЗЛ с зеркальными лампами накаливания, с успехом применяемые для освещения с больших расстояний.

В данное время опыт применения прожекторов с новыми источниками света еще невелик, тем более, что освоение прожекторов для новых ламп значительно отстает во времени от освоения самих ламп и устоявшиеся рекомендации по выбору прожекторов еще отсутствуют. Из вышесказанного ясно, что при освещении с близких расстояний уместно применение прожекторов с лампами ДРЛ или зеркальными лампами; прожекторы с обычными лампами накаливания еще сохраняют значение для средних расстояний, но успешно вытесняются прожекторами с лампами КГ, а впредь будут вытесняться прожекторами с лампами ДРИ.

Для больших площадей и значительных расстояний конкурентоспособными сейчас признаются лампы КГ и лампы ДКсТ, но и здесь по мере повышения единичной мощности ламп ДРИ и освоения для них прожекторов они будут вытеснять остальные типы ламп.

Видимо, впредь использование ламп ДКсТ будет ограничено случаями, когда особое значение имеет предельно высокая (50—100 кВт) единичная мощность ламп.

В порядке упрощенного сопоставления различных типов ламп для прожекторного освещения отметим, что лампа ДКсТ мощностью 10 кВт имеет номинальный ток 260 клм, лампа же КГ той же мощности лишь немного меньше — 220 клм, отличаясь, однако, меньшей стоимостью, большим сроком службы и возможностью непосредственного включения в сеть, тогда как для лампы ДКсТ требуется сложное и дорогое зажигающее устройство. Что касается лампы ДРИ, то уже при мощности 2 кВт она имеет ток 190 клм.

Для установки прожекторов следует использовать местные высотные сооружения, в частности крыши высоких зданий, на которых оборудуются прожекторные площадки или даже вышки. Прожекторными площадками могут быть снабжены также отдельно стоящие молниеотводы. Чаще же всего для групповой установки прожекторов используются специальные мачты, как правило, металлические, реже — железобетонные.

Высота установки прожектора определяется прежде всего условиями ограничения ослепленности, которые требуют, чтобы она находилась в определенном соотношении с осевой силой света прожектора, а кроме того, требуемым «радиусом действия» установки. В соответствии с нормами [1] отношение осевой силы света $I_{\max}$ (в канделах), одного прибора (прожектора или наклонно расположенного осветительного прибора прожекторного типа) к квадрату высоты установки этих приборов H^2 (в метрах) в зависимости от нормируемой освещенности не должна превышать значений, указанных ниже:

Нормируемая освещенность, лк	0,5	1	2	3	5	10	30	50
$I_{\max}/H^2$	100	150	250	300	400	700	2100	3500

Необходимо также учитывать, что если совпадают направления осевых сил света нескольких световых приборов, то допустимые значения нормируемой величины следует разделить на число этих световых приборов.

Интересно, что при очень больших размерах освещаемой поверхности теоретически оптимальным решением является установка над ее центром осветительных приборов широкого светораспределения и очень большой мощности на высоте, определяемой размерами площади и могущей достигать 100 м и более. Не следует считать фантастическим вариант подвески таких приборов к надежно вачаленному внейковому аэростату.

Расположение прожекторных мачт определяется в процессе расчета и обычно расстояние между мачтами лежит в пределах 6—15-кратной их высоты. При выборе расположения мачт учитываются требования к направлению света в отношении ограничения вредных теней и слепящего действия.

ТЕРРИТОРИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Освещение территорий предприятий можно рассматривать как состоящее из трех частей: освещение дорог, проездов и дворов, охранное освещение вдоль границ и освещение открытых склад-

ских и производственных площадок. Эти три части должны быть разделены в отношении питания и управления, так что последнее должно быть отдельным для каждой из них. Все управление должно быть сосредоточено в одном или немногих пунктах, причем для открытых площадок дополнительно могут устанавливаться аппараты местного управления.

Чаще всего фидеры наружного освещения отходят непосредственно от щитов подстанций, но допускается питание этого освещения от отдельных щитков, присоединяемых к питающей сети зданий, или даже отдельными группами и от групповых щитков внутреннего освещения с сохранением, однако, принципа централизованного управления.

Могут питаться от сети внутреннего освещения зданий и не управляться централизованно светильники для освещения прилегающих к зданиям погрузочно-разгрузочных рам и участков, расположенных под навесами, а также светильники у входов в здания.

Для освещения дорог, проездов, проходов и железнодорожных путей на территории предприятий в СНиП [1] нормируется наименьшая горизонтальная освещенность в пределах 0,5—3 лк, причем отношение наибольшей освещенности к наименьшей не должно превышать 15. Ограничение слепящего действия обеспечивается регламентацией наименьшей высоты установки светильников.

Дороги и проезды на территориях предприятий обычно имеют ограниченную ширину, и для их освещения чаще всего устанавливается один ряд светильников по обочине. Светильники могут устанавливаться на опорах или на стенах прилегающих зданий. При наличии зданий с обеих сторон проезда целесообразна подвеска светильников на тросах, над осью проезда.

В качестве источников света сейчас чаще всего используются лампы ДРЛ. Перспективы применения ламп ДРИ и ДНаТ пока не ясны, так как при низких требуемых освещенностях были бы необходимы лампы малой мощности, до сих пор не выпускаемые.

Если рассматривать дорогу или проезд как изолированный объект, вне связи с остальной территорией, то применение здесь прожекторного освещения нецелесообразно; но оно может оказаться вполне оправданным, когда на генеральном плане имеются большие, незатеняемые зданиями участки: заводские дворы с возможностью движения по всей их площади, пучки железнодорожных путей и т. д.

Охранное освещение отнюдь не является обязательным для каждой территории. Оно должно устраиваться при наличии не только ограды, но и постоянных постов охраны. Для него нормирована горизонтальная освещенность 0,5 лк или такая же освещенность с одной стороны вертикальной плоскости перпендикулярной линии ограды. Чаще всего это освещение выполняется светильниками, опоры для установки которых целесообразно совмещать со стойками ограждения. Лампы охранного освещения должны обеспечивать мгновенное перезажигание при кратковременном прекращении питания, что предопределяет применение ламп накаливания.

Возможность ограничиться для охранного освещения получением вертикальной освещенности делает здесь возможным применение прожекторов, причем если вблизи ограждения нет населенных районов, то здесь можно ограничиться минимальной высотой установки и направить ось прожектора почти горизонтально. В силу ряда причин такой способ практически применяется только в некоторых системах автоматизированной охраны.

Частым объектом освещения на территории предприятий являются открытые складские и производственные площадки, для которых в зависимости от характера выполняемых работ нормирована освещенность от 2 до 50 лк. Помимо очевидной здесь возможности устройства прожекторного освещения, иногда являющегося единственным целесообразным решением, должны рассматриваться и варианты освещения светильниками. Некоторые открытые склады сыпучих материалов загружаются с помощью проходящих над ними транспортных галерей, на стенах которых могут быть установлены светильники для освещения кучи. В других случаях имеются крановые эстакады с проходом по верху по всей длине, где могут быть размещены светильники. Наконец в некоторых случаях светильники могут быть подвешены на тросах, натянутых между опорами.

ТЕРРИТОРИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

За последние годы техника уличного освещения, будем так говорить для краткости, стала в какой-то степени самостоятельным подразделением осветительной техники — настолько здесь много специфических вопросов. Требования к уличному освещению систематизированы в Инструкции ВСН 22-75 [21], которая наряду с ВСН 19-74 по общественным зданиям [34], может быть признана одним из наиболее полноценных нормативных документов по технике освещения.

Согласно ВСН 22-75 улицы, дороги и площади разделяются на три категории: А — скоростные дороги, магистральные улицы общегородского значения, главные площади и т. д.; Б — магистральные улицы районного значения, дороги грузового движения общегородского значения, площади перед крупными общественными зданиями и т. д.; В — улицы и дороги местного значения, жилые и поселковые улицы и т. д. Для всех этих объектов нормируется средняя яркость дорожного покрытия, которая в зависимости от категории и интенсивности транспортного движения установлена в пределах от 0,2 до 1,6 кд/м² (для скоростных дорог во всех случаях принимается верхний предел), при отношении наибольшей яркости к наименьшей в различных случаях не более 3 или 5.

Эти нормы относятся к улицам с гладким асфальтобетонным покрытием. Для улиц с так называемыми переходными покрытиями (грунт-асфальтовыми, щебеночными и гравийными, обработан-

ными вяжущими материалами, булыжными и т. п.) и с простейшими покрытиями (грунтовыми, гравийными, щебеночными, шлаковыми), каковыми могут быть только улицы категорий Б и В, нормируется средняя освещенность в пределах от 2 до 6 лк.

Средняя освещенность, при одновременной регламентации предельной неравномерности, нормирована также для всех других объектов: непросезжих частей улиц и площадей, бульваров и скверов, территорий микрорайонов, территорий учебных, воспитательных и лечебных учреждений, словом, во всех случаях, когда речь не идет о зрительных задачах водителей транспорта. Уровень средней освещенности в большинстве случаев нормирован в пределах от 1 до 10 лк.

В установках уличного освещения при средней яркости покрытия 0,4 кд/м² и выше, или при средней освещенности 4 лк и выше рекомендуется применение газоразрядных ламп. Практически наибольшее применение имеют в настоящее время лампы ДРЛ. Хотя с помощью определенных мер можно обеспечить относительно надежную работу люминесцентных ламп в условиях отрицательных температур, но опыт их применения на улицах (особенно в условиях городов северной части СССР) не оправдал себя.

Необходимо отметить, что лампы ДРЛ при температуре ниже —25 °С также загораются недостаточно надежно. Для наружного освещения в районах, где достаточно часто и длительно бывает температура ниже —25 °С, целесообразно применять специальные лампы ДРЛ в исполнении «ХЛ», предназначенные для холодного климата.

Из новых источников света для освещения улиц наиболее перспективны лампы ДНаТ, уже начинающие использоваться в ряде городов.

Ограничение ослепленности для объектов категорий А и Б обеспечивается установлением предельного показателя ослепленности $P = 150$ [1 и 21], а во всех остальных случаях — регламентацией наименьшей высоты установки светильников в зависимости от характера светораспределения и светового потока ламп. В некоторых случаях наименьшая высота определяется конструктивными обстоятельствами; так, на улицах с трамвайным или троллейбусным движением провода и тросы уличного освещения должны располагаться выше контактных сетей, что требует высоты 8—9 м.

Применение прожекторов для освещения улиц и площадей нормами запрещается, но прожекторы находят широкое применение для освещения фасадов зданий, памятников и т. п.

Расчет уличного освещения по средней яркости производится методом, рассмотренным в § 4-3, по средней освещенности — с помощью таблиц обычных коэффициентов использования, которые в данном случае составляют в функции не индекса помещения, а отношения ширины освещаемой полосы к высоте установки светильников. С учетом того, что, помимо средних значений яркости или освещенности, должны быть обеспечены предельные значения коэффициента неравномерности, а принятое решение должно быть

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОБОСНОВАННОСТЬ ВЫБОРА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

8.1. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА ПРОЕКТНЫХ РАБОТ

Осуществление новых осветительных установок и сколько-нибудь существенная реконструкция действующих выполняются по проектам, разрабатываемым соответствующими организациями или непосредственно предприятиями.

Хотя проекты освещения часто входят в общий комплекс проектов электрооборудования, светотехническое проектирование столь специфично, что, как правило, не может успешно выполняться электриками широкого профиля, а должно поручаться лицам, специализирующимся в этом виде работ. Соответственно в небольших проектных организациях для этого выделяются отдельные лица, в крупных — специальные бригады, в электротехнических институтах — отделы или секторы.

В последнем случае при большом объеме работ оказывается целесообразной дальнейшая специализация исполнителей. В зависимости от профиля организации она может осуществляться различным путем, но прежде всего целесообразно выделение отдельных лиц для проектирования освещения зданий и для проектирования наружного освещения. В свою очередь из числа проектирующих внутреннее освещение может оказаться целесообразным выделение специалистов по проектированию общественных зданий и бытовых корпусов, а иногда и специализация исполнителей по различным отраслям промышленности.

Исполнители светотехнических отделов и секторов разбиваются на бригады; как показывает опыт, один руководитель может вести бригаду в составе не более 4—5 человек. Оплата труда применяется как повременно-премиальная, так и сдельная.

Существенно важной для успешного выполнения проектных работ является хорошая обеспеченность исполнителей руководящими, справочными и информационными материалами, в том числе справочниками по проектированию освещения, общесоюзными (Правила устройства электроустановок — ПУЭ, СНиП, СН, ВСН) и отраслевыми нормами, каталогами изделий, номенклатурами заводов на текущий год и т. д. Большое значение имеют работы, выпускаемые по плану технических мероприятий головными проектными институтами. Эти работы, не носящие характера общеобязательных норм, посвящены обобщению опыта проектирования и типизации проектных решений по определенным, относительно узким вопросам: например, проектирование прожекторного освещения, освещение предприятий определенной отрасли промышленности и т. п. Значительное число таких работ, выпущенных ин-

близким к экономически оптимальному, расчет оказывается достаточно сложным и редко выполняется в индивидуальном порядке.

Госгражданстроем СССР разработаны и изданы типовые решения освещения улиц и дорог [39], которыми и следует руководствоваться.

На рис. 7-17 показаны характерные схемы размещения светильников уличного освещения, причем двухрядное расположение может быть как прямоугольным, так и шахматным.

Для освещения узких проездов, тротуаров, прилегающих к домам, и внутриквартальных площадей в последнее время применяются специальные настенные светильники, которые могут питаться от внутридомовой сети.

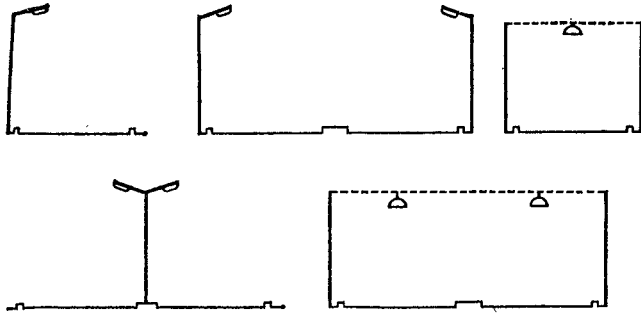


Рис. 7-17. Схемы размещения светильников на улицах

Управление освещением улиц и площадей должно быть централизованным: телемеханическим или дистанционным, и осуществляться из одного центрального или центрального и нескольких районных диспетчерских пунктов, имеющих прямую телефонную связь, дублированную радиосвязью.

Уличное освещение должно включаться при снижении урона естественной освещенности до 20 лк и отключаться при ее повышении до 10 лк, что осуществляется с помощью фотоавтоматики или программных устройств. В ночное время для улиц, дорог и площадей с нормированной средней яркостью не менее 0,4 кд/м² или со средней освещенностью не менее 4 лк допускается снижение освещенности путем выключения не более половины светильников. Для этого в сетях уличного освещения выделяются отдельно управляемые «вечерние» и «ночные» фазы, на улицах же категорий А и Б допускается прокладка раздельных кабелей вечернего и ночного освещения.

Другие требования норм к устройству уличного освещения имеют целью обеспечить его надежную работу.

ститутом Тяжпромэлектропроект, получили широкое применение в проектных организациях.

В качестве примера подобных работ могут быть названы неоднократно переиздававшиеся Проектные решения по освещению характерных помещений. В этой работе для помещений, наиболее часто встречающихся в различных отраслях промышленности (вспомогательно-бытовых помещений, цеховых электропомещений, разного рода галерей и туннелей, насосных, компрессорных и т. д.), даются значения не только освещенности и качественных характеристик освещения, но и рекомендации по выбору типа светильников и рода проводки, а во многих случаях приводятся типовые варианты расположения светильников и схем электрической сети.

При проектировании следует уделять серьезное внимание конструктивному решению отдельных узлов осветительных установок. В целях наибольшей индустриализации электромонтажных работ следует во всех возможных случаях применять конструктивные элементы, выпускаемые заводами с компоновкой их в возможно более крупные узлы. Таким узлом может быть, например, узел установки светильника с лампой ДРЛ на ферме, включающий устройство для крепления к ней, кронштейн, ПРА и сам светильник. Типовые альбомы конструктивных узлов выпускаются также институтом Тяжпромэлектропроект.

Не удастся, однако, избежать и применения индивидуально разрабатываемых конструкций, в связи с чем в составе светотехнических отделов или групп целесообразно иметь конструкторов-специалистов.

В ряде случаев конструктивные чертежи, выпускаемые для определенного объекта, могут по своему характеру быть в дальнейшем использованы и в других проектах и тогда они оформляются как безобъектные чертежи многократного применения. В целях удобства последующего использования должен вестись каталог таких чертежей.

Исключительную роль во всяком проектировании должны играть типовые проекты, однако в светотехническом проектировании эта роль не столь велика отчасти из-за нередких изменений нормативных материалов, в основном же из-за неустойчивости номенклатур изделий светотехнической промышленности. Тем не менее в ряде случаев, преимущественно для зданий непроизводственного и вспомогательного характера, такие проекты применяются, и задачей проектирующего является их так называемая «привязка» к конкретному объекту проектирования. При привязке проектируется внешняя питающая сеть (так как в типовых проектах сеть, естественно, разрабатывается, только начиная от ввода) и проверяется соответствие типового проекта требованиям и условиям данного момента, причем привязывающий несет ответственность за качество привязанного им проекта. При проектировании следует широко использовать проекты-аналоги, т. е. ранее выполненные проекты для объектов, подобных данному.

По окончании проекта рекомендуется составлять его «паспорт», в котором фиксировать итоговые и удельные показатели: мощность полную и удельную, расход проводниковых материалов на один светильник, стоимость установки на один установленный киловатт и т. д. Такие показатели позволяют не только критически оценить эффективность данного проекта, но могут быть использованы и

в последующих работах для предварительного определения стоимости, мощности и потребности в материалах и оборудовании.

Объем проектной документации по разработке проектов и смет для промышленного строительства СН 202-76 [40] и более детально нормальный институт Тяжпромэлектропроект.

Различаются следующие стадии проектирования:

- 1) технико-экономические обоснования (ТЭО);
- 2) технический проект (ТП);
- 3) рабочие чертежи (РЧ);
- 4) технорабочий проект (ТРП).

В данное время предпочтительно рекомендуется выполнение проектов в две стадии: ТЭО и ТРП; в сложных случаях ТП и РЧ. Стадийность проектирования определяется вышестоящими организациями. Если проекты освещения выполняются отдельно, вне комплекса всей проектной документации, то, как правило, они должны иметь одну стадию — ТРП.

Объем ТЭО еще не нормализован. В данное время он обычно ограничивается короткой пояснительной запиской с изложением основных положений, определением общей мощности и сметно-финансовым расчетом, в котором общая стоимость установки определяется умножением установленной мощности на определенную по данным проектов-аналогов стоимость 1 кВт.

Задача ТП — принятие основных решений и определение окончательной стоимости установки. В состав ТП входят: пояснительная записка, ведомость основных технических показателей, заявочная ведомость на электрооборудование, кабельные изделия и основные материалы, план-схема внутренней питающей сети и план внешней сети, основные строительные задания, смета.

В ведомости основных показателей для каждого крупного помещения или для группы однотипных или мелких помещений указывается площадь, преимущественная освещенность, преимущественный тип светильников, удельная и установленная мощность, число светильников общего и местного освещения, число контактных разъёмных соединений, преимущественный род проводки.

Светотехнические данные определяются на основании фрагментарных расчетов или проектов-аналогов, на основании проектов-аналогов или же систематизированных показателей по ранее выполненным проектам определяются данные групповой сети; в полном объеме рассчитывается только питающая сеть.

Заявочные ведомости на стадии ТП составляются укрупненно в том отношении, что не дается полной разбивки изделий по типоразмерам, а приводится только их общая характеристика, например: светильники для люминесцентных ламп, светильники для взрывоопасных помещений, провода изолированные сечением от — до и т. д. Смета составляется в полном объеме.

Из изложенного можно видеть, что требования к стадии (ТП) противоречивы. Окончательная смета может быть составлена только тогда, когда приняты проект-

ные решения во всех деталях, тогда как это в принципе не входит в задачу ТП, да и невозможно, так как на этой стадии проектирующий не располагает еще окончательными чертежами задания. Ведомость в таком виде, как указано выше, практически вовсе не используется, так как никто не принимает заявки на светильники вообще, без точного указания типа.

Проектированию на стадии РЧ специально посвящен § 8-2. Стадия ТРП отличается от стадии РЧ лишь тем, что в состав проекта включается смета и, как правило, пояснительная записка (для объектов, состоящих из нескольких зданий, обычно составляется общая пояснительная записка).

Перспективным, но отчасти спорным, является вопрос об использовании в светотехническом проектировании электронно-вычислительных машин, не говоря, конечно, о клавишных ЭВМ, бесспорно полезных при любых инженерных расчетах.

Массовые светотехнические и сетевые расчеты упрощены сейчас до такой степени, что они требуют не больше времени, чем потребовала бы одна только выдача заданий ЭВМ на их выполнение. Безусловно оправдано и уже широко практикуется использование ЭВМ для таких работ, как выполнение расчетов, необходимых для построения прожекторных и линейных изолук, составления таблиц коэффициентов использования и т. п.

Вторым этапом, уже осваиваемым некоторыми проектными организациями, является использование ЭВМ для комплексного решения задачи нахождения оптимального варианта освещения того или иного объекта. В этом случае в ЭВМ вводится в полном объеме комплекс светотехнических требований и исходные экономические данные. ЭВМ же решает задачу минимизации приведенных готовых затрат и выдает оптимальный вариант. Частным случаем подобной задачи является выбор частоты и расположения мачт для прожекторов, а также числа прожекторов и ориентации их осей.

Исключая последний случай, надо сказать, что в обычных условиях проектирования выбор для конкретных помещений оптимальных вариантов представляется мало реальным. Более перспективным можно считать использование ЭВМ для разработки «безобъектной» сетки оптимальных вариантов, «привязываемых» при конкретном проектировании. Это облегчается существующей в известной степени типизацией строительных размеров помещений. Так, ширина пролетов в цехах с фермами имеет ограниченное число возможных значений, ограниченное число сочетаний длины и ширины имеют помещения производственных зданий, проектируемых по модульной системе, что же касается высоты помещений, то решения могут быть унифицированы в пределах определенного диапазона ее изменения.

Ко второму этапу можно отнести также использование ЭВМ для составления спецификаций и смет, причем для обчета последних ЭВМ уже широко применяются.

Оптимисты считают возможным и третий этап, а именно: после широкого внедрения графопостроителей использование ЭВМ для составления проекта освещения полностью с выдачей ими готовых чертежей. Пока трудно судить о том, насколько это реально, особенно в сложных случаях проектирования локализованного освещения, когда приходится пользоваться одновременно разными видами чертежей задания. Даже оптимисты в этом вопросе согласны, однако, с тем, что решения должны приниматься человеком, а не машиной.

8-2. СТАДИЯ РАБОЧЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Для того чтобы выполнить полноценный проект освещения, надо знать о проектируемом объекте буквально все. Для зданий — это детальная планировка по всем отметкам, включая разного

рода площадки, приямки, подвалы, высота отдельных помещений, особенности строительных конструкций во всех их деталях, назначение помещений, расположение, а иногда и конструкция технологического оборудования, размещение и размеры устройств вентиляции, водопровода, канализации и отопления, условия среды в помещениях, число работающих в них и т. д.

Для территорий должно быть известно размещение на генеральном плане зданий, дорог, проездов, различных открытых площадок, подземных и наземных коммуникаций и т. д. Во всех случаях должна быть известна сменность работы и источники питания электроэнергией.

Условия среды в помещениях часто определяются их назначением; так, конторское помещение не может быть ни пыльным, ни пожароопасным, сталеплавильный цех всегда является жарким и с токопроводящей пылью и т. д. Но наиболее ответственным является вопрос о степени пожаро- или взрывоопасности помещений, решать который, за исключением совершенно очевидных случаев, проектировщик-светотехник не имеет права, а должен иметь точные письменные указания по этому вопросу.

Часто говорят, что проектировщик должен хорошо знать технологический процесс проектируемого предприятия и, в частности, условия зрительной работы на каждом рабочем месте. Это, конечно, верно, но с той оговоркой, что в планах организаций, как правило, повторяются однотипные объекты, во многих же случаях проектировщик может использовать апробированные типовые решения, так что нет необходимости каждый раз наново изучать производство. Равным образом нет необходимости изучать конструкцию станка и характер работы на нем, если известно, что этот станок поставляется укомплектованным устройством местного освещения.

Но если проектируется новое для данной организации производство или детально разрабатываются вопросы местного освещения, то глубокое знание производства, безусловно, необходимо. В подобных случаях наилучшее решение не всегда может быть найдено кабинетным путем и нередко приходится проверять намеченные решения на опытных установках. Опытные установки или макетирование иногда оказываются необходимыми также при проектировании архитектурно-художественного освещения.

При проектировании реконструкций освещения действующих предприятий все необходимые чертежи и данные могут быть получены у заказчика. При проектировании нового строительства проектировщику приходится работать в условиях так называемого параллельного проектирования, когда различные виды проектных работ ведутся одновременно и нередко заканчиваются в общий срок. Заданием в этом случае служат отдельно выполняемые чертежи: архитектурные (АР), технологические, отопления и вентиляции (ОВ), водопровода и канализации (ВК), металлоконструкций (КМ) и железобетонных конструкций (КЖ). В условиях общего срока окончания проектных работ проектирование освещения обычно приходится начинать по предварительным или промежуточным чертежам, корректируя начатую работу по мере уточнения заданий. Подчеркивается, что проект, выполненный без сверки с окончательными чертежами всех видов, не может быть полноценным.

На самых первых этапах проектирования (даже на стадии технического проекта) должны выдаваться строительные задания на мостики и площадки обслуживания, ниши, проемы, крупные отверстия, закладные детали, площади для прожекторов на крышах зданий, фундаменты для мачт и т. п. Кроме того, выдаются задания лицам, проектирующим электроснабжение, в которых указываются ожидаемые нагрузки и число фидеров на щитах подстанций.

Проектирование можно разделить на три части: светотехническую, электротехническую и составление смет и спецификаций (не считая параллельно выполняемой конструктивной части).

Можно, конечно, считать, что светотехническая часть состоит из выбора систем и видов освещения, источников света, типа светильников и т. д., но такое разделение крайне условно: имея перед собой определенное помещение, проектировщик решает все вопросы не изолированно, а комплексно. Более того, размещая светильники, заранее приходится учитывать условия трассировки групповых сетей.

В сетевой части начальным и ключевым является вопрос о размещении групповых щитков; затем komponуются и наносятся на план все виды сетей и производится расчет их сечений.

В объем рабочих чертежей входят следующие основные документы:

1) пояснительная записка, которая составляется лишь в тех случаях, когда необходимо обоснование или описание проектных решений, итоговые же данные и пояснения монтажного характера предпочтительно давать непосредственно на планах;

2) планы осветительной установки по всем этажам или площадкам разных отметок; для наружного освещения — генеральный план (об оформлении этих планов сказано далее);

3) разрезы по архитектурно сложным зданиям с изображением светильников и мест трассировки сетей;

4) конструктивные чертежи, как индивидуальные, так и безобъектные; утвержденные типовые чертежи к проекту не прикладываются;

5) схемы или план-схемы питающих сетей, если это сети со всеми необходимыми данными не могут быть изображены на планах осветительной установки;

6) заказные спецификации;

7) таблица условных обозначений.

Если предусматривается дистанционное управление освещением, то в проекте даются также соответствующие схемы и конструктивные чертежи. На всех стадиях и во всех случаях к проекту не прилагается каких-либо материалов промежуточных расчетов.

Подробные указания по оформлению рабочих чертежей приводятся в нормальных института Тяжпромэлектропроект. Остановимся лишь на некоторых вопросах оформления планов и спецификаций.

На планах осветительной установки показываются:

архитектурно-строительная часть здания в упрощенном виде с указанием назначения каждого помещения;

контуры основного оборудования, в отдельных случаях с указанием его наименования;

принятые по каждому помещению значения освещенности;

осветительные приборы с указанием типа, мощности и высоты установки.

контактные разъемные соединения, выключатели, трансформаторы 12—36 В;

групповые сети всех назначений; щитки и питающие сети.

Особое внимание должно уделяться маркировке сетей. Для каждого их участка должны быть ясны сечение и число жил, марки кабельных изделий и способ прокладки, причем общие или обладающие для всего чертежа данные могут указываться в примечаниях к плану. Для того чтобы обеспечить равномерную нагрузку всех фаз сети, на линиях должны указываться номера групп. Это особенно важно, так как сейчас принято изображать группы одного вида освещения, прокладываемые по общей трассе, одной линией. На чертеже плана дается также экспликация конструктивных узлов установки светильников, трансформаторов и других аппаратов. Для монтажных организаций удобно, когда на планах приводится также полная спецификация оборудования и материалов, относящихся к данному плану, но пока это не принято в обязательном порядке.

В последние годы получили распространение некоторые приемы упрощенного оформления планов, в частности:

1. При наличии в пределах плана или проекта в целом нескольких помещений одинаковой площади и с идентичными проектными решениями на плане показывается только ввод сети в эти помещения и ставится марка «ЭП № ...», полный же план осветительной установки такого помещения вычерчивается один раз, под тем же номером, на том же или отдельном чертеже. Такое же решение возможно для повторяющихся участков больших производственных помещений.

2. Для протяженных помещений, таких, как транспортные галереи, вычерчивается только их начало и конец и указывается, что в разрыве установлено столько-то светильников.

3. Вполне идентичные группы или ряды светильников на плане не изображаются, а делается указание «аналогично оси...» или «аналогично группе № ...».

4. При длинных рядах светильников условное обозначение вычерчивается только для крайних светильников, места же ответвления от линии к остальным светильникам показываются короткими черточками.

Отдельные элементы оформления планов показаны на рис. 8-1, причем дополнительно к изображению светильников, сети и выключателей даются только те знаки и надписи, которые поясняются данной схемой.

Изображение на планах осветительной сети является одновременно и ее однолинейной схемой, для правильного прочтения которой в ряде случаев необходимо отмечать число проводников в линии с помощью засечек (при двух проводах в линии засечки не наносятся). Из схемы 8-1, а благодаря засечкам ясно, что один выключатель управляет двумя левыми светильниками, второй — двумя правыми, а контактное разъемное соединение включено в сеть «напрямую». В случае, показанном на схеме 8-1, б, число засечек будет одинаковым, когда совместно выключаются два левых светильника или два крайних. Чтобы схема читалась однозначно, взаимное соответствие выключателей и управляемых ими светильников отмечено римскими цифрами.

На схеме 8-1, а указан номер питающей группы (7), класс пожароопасности (П-1), освещенность (50 лк), тип светильников (ППР), мощность лампы (150 Вт), высота установки светильников (2,7 м) номер конструктивного узла крепления светильника (3), марка кабеля и его сечение (АНРГ, 4 мм²). При относительно большом числе светильников на плане перед обозначением типа светильников может указываться также их число, как показано на схеме 8-1, в (6).

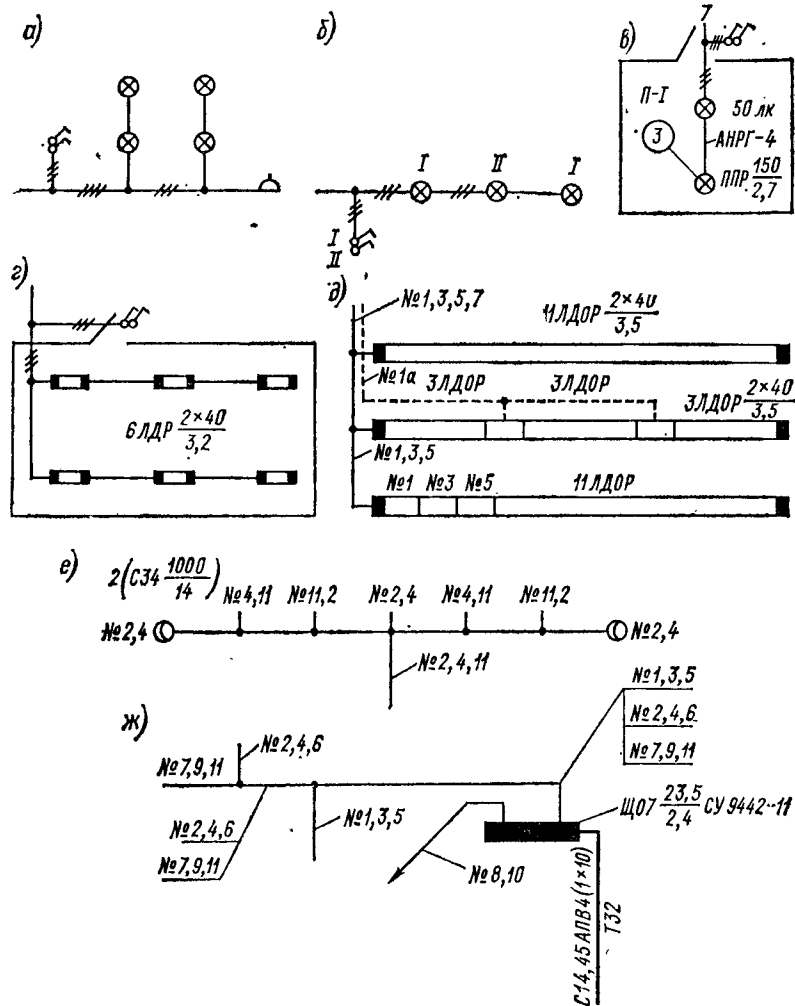


Рис. 8-1. Элементы оформления планов осветительных установок

На схеме 8-1, д показаны три варианта маркировки светильников с люминесцентными лампами, установленных в линию. Если весь ряд светильников питается одной группой, достаточна маркировка, показанная для верхней линии; если в ряду выделены светильники аварийного освещения, места их установки следует конкретизировать, как показано для средней линии; если необходимо пояснить,

как распределены светильники между группами, номера групп надо указать хотя бы у первых светильников (нижняя линия).

В протяженных рядах светильников могут быть обозначены и замаркированы только крайние светильники (схема 8-1, е) и показаны ответвления к остальным с указанием, если необходимо, номеров групп присоединения.

На схеме 8-1, ж групповой щиток и питающая его линия замаркированы для случая, когда отдельно не выполняется ни схема, ни план-схема питающей сети (в противном случае на плане осветительной установки у щитков и линий указываются только их номера). В данном случае у щитка, помимо его номера, указана мощность (23,5 кВт), потеря напряжения от источника питания до щитка (2,4%) и тип щитка (СУ 9442-11). У питающей линии указана ее длина (45 м), марка провода, число и сечение проводов, способ прокладки (в водогазопроводной трубе с условным проходом 32 мм).

От щитка на схеме отходят 12 групповых линий, но физически они объединены в четыре четырехжильных кабеля, фазовые жилы которых обслуживают каждая свою группу, а нулевая жила является общей для трех групп, причем последние должны быть присоединены к различным фазам сети. Один из кабелей опускается вниз «стояком». У каждой маркировочной «полки» должны быть указаны номера групп, обслуживаемых данным кабелем, а также марка, сечение и число жил данного кабеля. Можно ограничиться указанием марок и сечений в примечаниях к плану, в отношении же числа жил указать, что оно равно числу совмещенных в кабеле групп плюс один. Все сказанное относится, конечно, также и к проводке, выполненной проводами в трубах.

Применение групп с общим для нескольких групп нулевым проводником технически целесообразно, показание же нескольких кабелей одной линией — обязательный условный прием, имеющий целью несколько упростить светотехнические чертежи, обычно перегруженные обозначениями и надписями.

Оформление заказных спецификаций в составе рабочих чертежей регламентировано рядом документов, и здесь можно отметить только некоторые принципиальные моменты. Спецификация должна охватывать все оборудование и материалы, кроме мелких вспомогательных материалов и метизов. Количества должны быть правильными и включать установленный запас. При составлении спецификаций наиболее трудоемкой операцией является обмер сети по плану (рекомендуется выполнять его мерным шнурком с узелками через 10 см; работа с курвиметром значительно медленнее), но эта операция неизбежна и определять потребность в кабельных изделиях по укрупненным показателям или данным проектов-аналогов можно только на стадии технического проекта.

Сама структура спецификации должна в известной мере организовать последующую работу органов снабжения, для чего, например, изделия разделяются не только по группам, но и по признаку поставки их заказчиком или подрядчиком, т. е. застройщиком и монтажной организацией. В особый перечень выделяются изделия, подлежащие изготовлению мастерской электромонтажных заготовок (МЭЗ), причем материалы, из которых выполняются эти изделия, должны быть также учтены спецификацией.

Следует подчеркнуть, что в данной книге изложены основные общие положения и указания, касающиеся проектирования и устройства осветительных установок. Более подробно многие вопросы отражены в книге [43], вопросы электрической части — в [28], а в качестве основного справочного материала при учебном и реаль-

ном проектировании может быть рекомендована книга [27]. Как краткое пособие по общим вопросам светотехники может быть также названа книга [42].

8-3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

К сожалению, в настоящее время при рассмотрении вопросов эксплуатации освещения нет возможности использовать обобщенный прогрессивный опыт многих предприятий, а приходится говорить о том, как должна осуществляться эксплуатация освещения, а не о том, какова она в действительности.

Основной элементарной задачей персонала, эксплуатирующего осветительные установки, является поддержание их в том виде, в каком они первоначально запроектированы и осуществлены, но эта задача отнюдь не является единственной.

В обязанности светотехнической службы предприятия должно также входить:

1. Приведение установки в соответствие с изменяющимися условиями производства.

В процессе работы предприятия или учреждения изменяется назначение отдельных помещений, производятся перестановки оборудования, осваиваются новые технологические процессы и т. д. Во многих, если не во всех случаях, это требует внесения соответствующих изменений в осветительные установки, причем эти изменения в зависимости от их объема и сложности могут быть выполнены по указаниям руководителя светотехнической службы, по проекту заводского конструкторского бюро или по проекту специализированной организации.

2. Эксплуатационная оценка качества изделий светотехнической промышленности.

Хотя все выпускаемые изделия проходят контроль и испытания, для самой промышленности крайне ценно получение систематизированных замечаний и пожеланий предприятий, непосредственно использующих эти изделия.

3. Опытное внедрение вновь осваиваемых изделий.

Обычно внедрение новых изделий, например ламп и светильников, проходит довольно длительный путь и начинается с предложений проектной организации. Надо всячески приветствовать инициативу предприятий по самостоятельному внедрению этих изделий, в результате чего может быть наиболее быстро накоплен ценный опыт их использования. При таком внедрении желательно, однако, использовать советы проектировщиков и ученых, без чего возможны грубые ошибки. В подтверждение сказанного может быть отмечено, что первая в Ленинграде крупная установка люминесцентного освещения, инициативно выполненная Первой кондитерской фабрикой, в свое время способствовала накоплению положительного опыта использования новых ламп, наоборот, ряд других установок, выполненных технически неправильно, повел только к дискредитации люминесцентного освещения, хотя косвенно тоже принес пользу, указав, каких ошибок надо в дальнейшем избегать.

4. Оценка проектных решений и нормативных документов.

Осветительные установки выполняются по проектам, которые составляются на основе нормативных документов. Однако как нормы, так и проекты могут иметь ошибки, основным, если не единственным путем выявления и устранения которых являются наблюдения, сделанные в процессе эксплуатации.

5. Выбор наилучших способов освещения помещений и мест.

В силу ряда причин проектные организации не всегда имеют возможность уделять должное внимание подобным вопросам (в частности, в проектах редко с достаточной глубиной прорабатываются вопросы местного освещения); недостаточно записываются типизацией рациональных решений и исследовательские организации. Перед заводскими светотехниками здесь открыто неограниченное поле деятельности, тем более, что именно им легче всего проверять свои предложения на опыте.

6. Выбор оптимальных режимов и технологии обслуживания светильников.

Нормативные и литературные материалы по этим вопросам неизбежно носят общий характер, тогда как едва ли не каждое предприятие имеет свои специфические особенности. Соответственно этим особенностям должны уточняться, например, вопросы, как периодичность очистки светильников и выбор моющих средств.

К выполнению указанных задач во многих случаях полезно привлечение научных или проектных организаций на началах творческого содружества или хозяйственных договоров. Самый характер этих задач показывает, что польза от их решения никоим образом не должна локализоваться в пределах одного данного предприятия и что полученные выводы должны, как правило, становиться общим достоянием. Одним из путей для этого является публикация статей в журнале «Светотехника».

Из сказанного ясно, сколь сложны и разнообразны задачи светотехнической службы предприятия.

На каждом предприятии или в учреждении должны иметься лица, ответственные за эксплуатацию освещения, начиная от монтера — в очень небольших и кончая инженером и группой техников — в наиболее крупных (на таких гигантах, как Волжский автомобильный завод уже существует Бюро светотехники). На крупных предприятиях должно, кроме того, иметься достаточное число монтеров, непосредственно занятых обслуживанием осветительных установок. К сожалению, до настоящего времени отсутствуют утвержденные нормативы для определения численности потребного персонала, который в некоторых случаях исчисляется сотнями лиц, и можно сослаться только на ведомственные нормативы, опубликованные в Инструктивных указаниях по проектированию промышленных электротехнических установок института Тяжпромэлектропроект (1972 г., № 8).

В последнее время признано целесообразным создавать на крупных предприятиях специальные светотехнические мастерские, а на особо крупных — также светотехнические лаборатории. Институт Тяжпромэлектропроект рекомендует создание мастерских (одной или нескольких) на предприятиях с установленным числом светильников общего освещения не менее 4000, а лабораторий — при числе светильников начиная от 15 000.

Задачами мастерских является периодическая очистка светильников, ремонт светильников и пускорегулирующей аппаратуры,

а также изготовление специальных осветительных устройств и крепежных конструкций, которые могут потребоваться при частичной реконструкции освещения.

При мастерских должны иметься кладовые для хранения оперативного запаса светильников и ламп. Рекомендуется хранить запас светильников в размере 5% от общего числа установленных и запас ламп в размере их квартальной потребности. Кроме того, в кладовых должны храниться отработавшие газоразрядные лампы также в объеме их квартального расхода в предположении, что раз в квартал они вывозятся для захоронения в установленное место или передаются на демеркуризационную установку. Газоразрядные лампы, как новые, так и отработавшие, должны храниться отдельно от других ламп в надежной таре.

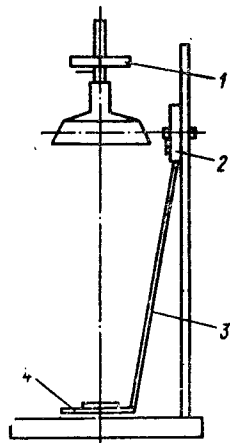


Рис. 8-2. Распределительный фотометр

Светотехнические мастерские могут быть совмещены с электроремонтным цехом предприятия, а кладовые — с большими сооружениями складского хозяйства.

Лаборатория является необходимой для решения ряда задач, перечисленных выше. Как правило, она должна состоять из помещения для фотометрических работ с черными стенами и потолками, без окна или с окном, закрытым светонепроницаемыми шторами, из обычного светлого помещения для работ, не требующих затемнения.

В составе оборудования лаборатории должны иметься люксметры типов Ю-16 и Ю-17, стрелочные и самопишущие вольт-

метры, имеющие выход на самописцы, и амперметры для изучения характера изменения нагрузки и режима напряжения в осветительной сети, а по возможности также приборы для измерения видимости, цилиндрической освещенности, коэффициента пульсации и яркости.

Одним из основных приборов лаборатории является распределительный фотометр (рис. 8-2). Поворотная нога 3 фотометра должна иметь длину 2 м. На ее лопатке 4 укрепляется фотометрический элемент люксметра Ю-16. Угол поворота ноги фиксируется по лимбу 2, а угол поворота светильника вокруг его оси — по лимбу 1.

Придавая ноге наклон 0—5—15 ... 85—90 ... 175—180°, определяют силу света светильника или лампы как произведение измеренной освещенности на квадрат радиуса вращения. Обычно требуется отнести значения силы света светильника к условному потоку лампы 1000 лм. Для этого лампа, с которой испытывался светильник, фотометрируется отдельно и ее поток определяется умножением силы света в 18 опорных направлениях на примыка-

ющие к этим направлениям телесные углы и суммированием полученных произведений:

Направление, ...°	5 и 175	15 и 165	25 и 155	35 и 145	45 и 135
Телесный угол, ср.	0,095	0,283	0,463	0,628	0,774
Направление, ...°	55 и 125	65 и 115	75 и 105	85 и 95	
Телесный угол, ср.	0,897	0,992	1,058	1,091	

Несколько иначе фотометрируются светильники с люминесцентными лампами. Они устанавливаются на поворотной тумбе, снабженной лимбом, пластинка же фотометрического элемента устанавливается неподвижно на высоте светового центра светильника перпендикулярно направлению падающего на нее света и на расстоянии не менее 4-кратной длины светильника.

Для определения светового потока лампы достаточно одного измерения освещенности при таком же расположении фотометрического элемента относительно лампы без светильника, причем если измеренная в этих условиях освещенность E (в люксах), а дистанция фотометрирования R (в метрах), то световой поток (в люменах) равен $9,25 ER^2$.

В лаборатории желательно также иметь стенд для испытания люминесцентных ламп и проверки ПРА, или, по крайней мере, прибор ИЛЛ-1 (описание которого можно найти в отчете Ленинградского отделения института Тяжпромэлектропроект), который служит не только для проверки качества ламп, но и для восстановления их способности зажигаться, иногда утрачиваемой при длительном хранении, а также разделения ламп на группы по степени так называемого выпрямляющего эффекта, в зависимости от чего часть ламп предпочтительно использовать в цепях отстающего тока, часть — в цепях опережающего тока.

Помещение лаборатории может быть пристроено к мастерской или находится в составе центральной заводской лаборатории.

Три операции, связанные с эксплуатацией осветительных установок, имеют сходные, хотя и несколько различающиеся задачи, а именно: первоначальная приемка осветительных установок, их планово-предупредительный осмотр и обследование. Приемка выполняется при передаче установок в эксплуатацию, осмотр производится через каждые 2—4 мес., обследования же выполняются либо инспектирующими организациями в порядке надзора по своей инициативе, либо инспектирующими, а также проектными или исследовательскими организациями по приглашению предприятия. Такое приглашение может последовать в случаях когда поступают жалобы рабочих на плохое освещение или когда сама светотехническая служба возбуждает вопрос о необходимости реконструкции освещения.

При приемке установки проверяется ее соответствие проекту, а при наличии отступлений — их обоснованность и документированность. Особое внимание должно уделяться проверке укомплектованности светильников защитными стеклами, экранирующими

решетками и сетками, если эти приспособления предусмотрены проектом, на соответствие мощности ламп указанной в проекте, на правильность распределения ламп между фазами и т. д. Необходимо убедиться, что пускорегулирующие аппараты не производят шума и что их тип соответствует указанному в каталоге, так как не исключены случаи, когда вопреки каталогам, в светильниках установлены не компенсированные или не антистробоскопические ПРА.

Нередко случается, что при монтаже (или в процессе эксплуатации) в светильниках устанавливаются люминесцентные лампы не того спектрального типа, который был предусмотрен в проекте. Это может привести к неправильной цветопередаче, чаще же всего — к несоответствию освещенности расчетным значениям. Так, замена принятых в проекте ламп типа ЛБ на лампы ЛДЦ уже ведет к снижению освещенности на 30%.

При приемке установки, а также ежегодно в процессе эксплуатации должны выполняться измерения освещенности, техника которых рассмотрена ниже.

Задача плано-предупредительного осмотра установки достаточно очевидна и здесь не рассматривается.

Если при приемке установки ориентирующим документом является ее проект, то при обследовании, наоборот, могут и должны подвергаться критике и решения, принятые в проекте, тем более, что за время действия установки они могли устареть. Таким образом, задачей обследования является объективная и беспристрастная оценка соответствия установки всему комплексу гигиенических и технических требований. Поэтому при обследовании фиксируется рациональность примененных типов светильников и их техническое состояние, в особенности степень запыленности, укомплектованность всех светильников исправными лампами надлежащего типа и мощности, выборочно измеряется напряжение у ламп, проверяется наличие и исправность системы аварийного освещения и т. д.

Впредь до освоения серийного производства измерителей коэффициента пульсации степень ограничения пульсации можно проверить контрольным расчетом, зная типы ПРА и распределение ламп между фазами сети.

Приближенным, но удобным и убедительным является способ определения наличия недопустимой пульсации на глаз. Для этого следует, держа в руке карандаш или авторучку, быстро махать этим предметом в горизонтальной плоскости. При наличии пульсации предмет покажется имеющим многократные контуры (рис. 8-3). Для той же цели можно использовать стробоскопический волчок (рис. 1-14).

Удовлетворительной можно считать такую степень ограничения пульсации, при которой многократные контуры или моменты кажущейся остановки волчка едва различимы.

Степень ограничения ослепленности или дискомфорта, обусловленную нормами СНиП II-4-79 [1], нельзя, к сожалению, оценить

какими-либо приборами, и ее можно проверить только с помощью соответствующих таблиц.

Измерение освещенности в установках внутреннего освещения производится с помощью люксметра Ю-16, при малых же освещенностях, характерных для наружного освещения, может потребоваться люксметр Ю-17. Приборы должны иметь непросроченную дату поверки. Официальная поверка может производиться только уполномоченными на это организациями, но все же полезно иметь и в лаборатории примитивный поверочный прибор в виде набора светоизмерительных ламп силы света и устройства, позволяющего установить пластинку фотоэлемента строго параллельно плоскости расположения нити светоизмерительной лампы, на фиксированном расстоянии от нее, и так, чтобы свет падал в направлении нормали к фотоэлементу. Посторонние засветы должны быть исключены применением черных шторок с вырезами. Такой прибор может быть использован для проверки исправности люксметра, когда в этом возникают сомнения, и установления необходимости его ремонта или внеочередной поверки.

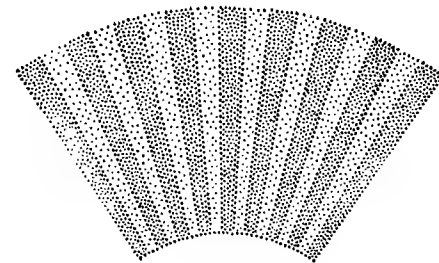


Рис. 8-3. Иллюзия многократных контуров движущегося предмета

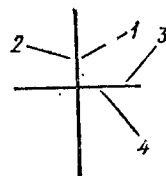


Рис. 8-4. Плоскости для измерения цилиндрической освещенности

При измерении освещенности гальванометр располагается горизонтально, фотоэлемент — в той плоскости, где измеряется освещенность. Случайные затенения должны устраняться, но затенения, фактически имеющие место во время работы, должны сохраняться. Так, освещенность на столе чертежника должна определяться при его рабочем положении.

При измерении освещенности должно фиксироваться напряжение у ламп, и если его отклонение от номинального значения можно считать случайным, то приводить освещенность к номинальному напряжению с помощью кривых рис. 2-4. Люксметры градуируются для ламп накаливания,

и, если они не снабжены корректирующими фильтрами, то для газоразрядных ламп должен вводиться коэффициент, указанный в паспорте прибора.

Впредь до освоения измерителей цилиндрической освещенности обычный люксметр может быть использован также для ее измерения. Для этого при вертикальном положении плоскости фотоэлемента производятся четыре измерения в плоскостях, обозначенных числами 1—4 (рис. 8-4). Среднее из этих значений является близким к значению цилиндрической освещенности (в наихудшем случае ошибка составляет 25%).

Если не ставится специальных задач, то обследование освещения не должно выливаться в исследовательскую работу, когда измеряется освещенность в очень большом числе точек, строятся графики ее распределения и т. п. Как правило, измерения могут производиться в нескольких характерных точках, причем не сле-

дует признавать установку негодной, если где-то в углах или у стен помещений освещенность не отвечает нормам.

Как указано в § 3-1, при расчете освещенности установлен допуск от -10 до $+20\%$. По-видимому, в эксплуатации могут быть допущены и несколько большие отклонения от норм, и, вероятно, можно признать освещение удовлетворительным, если не меньше чем на 80% площади или числа рабочих мест освещенность составляет не менее 80% нормированной. При обследованиях нарядом с личным мнением обследующих должна фиксироваться оценка освещения со стороны пользующихся им лиц.

Залогом хорошего состояния освещения является доступность светильников для обслуживания. Этот вопрос должен решаться уже на стадии проектирования, но в значительной степени ложится также и на плечи обслуживающего персонала.

При высоте установки светильников над полом не более 5 м их обслуживание может производиться со стремянки или приставной лестницы, а при высоте до 12 м (значение высоты указано по СН 357-77 [5]) — с различных напольных приспособлений: телескопических вышек или монтерских корзин, укрепленных на поворотных коленчатых стрелках. Эти приспособления могут быть самоходными или несамоходными. Возможность их применения ограничивается недостаточностью выпуска и пригодностью только в цехах, по площади которых они могут свободно перемещаться.

В цехах с крановым оборудованием обслуживание светильников чаще всего производится с настила моста кранов. Кран-балки могут быть снабжены приспособлениями, допускающими безопасное обслуживание: огражденными площадками, навесными кабинами и т. п. Использование кранового оборудования, однако, затрудняется или даже становится невозможным, если краны интенсивно заняты обслуживанием технологического процесса, а цех работает круглосуточно.

В отдельных случаях в высоких цехах без кранов могут оборудоваться самоходные или несамоходные кран-балки специально для обслуживания светильников.

Радикальным средством для обеспечения доступа к светильникам в высоких цехах является устройство светотехнических мостиков или площадок. Опыт показывает, что там, где эти устройства имеются, светильники, как правило, обслуживаются относительно регулярно.

По данным, приведенным в книге [43], стоимость мостиков составляет не более $0,1\%$ стоимости строительной части здания, а расход металла в них — не более $1,3\%$ расхода стали на металлоконструкции здания. Стоимость их окупается за $1,5$ — 3 года, а расходы на обслуживание сокращаются в 2 — 4 раза.

Замена ламп может производиться как индивидуально, по мере их перегорания, так и в групповом порядке, т. е. одновременно заменяются все лампы в помещении или в определенном ряду светильников. Для люминесцентных ламп в мировой практике при-

знается прогрессивным и широко применяется второй способ замены.

Дело в том, что срок, в продолжение которого лампа зажигается, не всегда совпадает со сроком ее полезной работы. Такое совпадение имеет место для ламп накаливания, световой поток которых лишь незначительно (около 15%) снижается к концу физического срока службы, для газоразрядных же ламп эти сроки могут быть различными. В частности, для люминесцентных ламп нормированное снижение потока к концу номинального срока службы составляет 40% , но нередко лампы продолжают зажигаться еще длительное время после этого, давая, однако, поток, чуть ли не в 10 раз меньший начального.

Если вести учет продолжительности использования ламп начиная с их первого включения и заменить все лампы по истечении 70 — 80% номинального срока службы, то будет гарантировано достаточно высокое среднее значение потока ламп за время их использования и значительно сократятся трудозатраты на замену ламп. Эти преимущества достигаются, правда, ценой увеличения расхода ламп, но лампы, снятые при групповой замене, могут быть подвергнуты испытанию и те из них, которые сохранили достаточную часть потока, направлены для повторного использования во вспомогательных помещениях.

В помещениях, где светильники с люминесцентными лампами расположены в несколько рядов, предпочтительно сроки замены ламп в смежных рядах как бы сдвигать по фазе на полпериода.

Для того чтобы при индивидуальной замене ламп определить степень их старения, а при групповой замене — оценить целесообразность повторного использования ламп, рекомендуется использовать приставку к фотоэлементу люксметра Ю-16, предложенную Фолькертом (рис. 8-5).

Приставка представляет собой полую камеру, которая цилиндрическим вырезом приставляется к лампе, вблизи ее середины, а нижней частью стыкуется с фотоэлементом. В этом случае показания гальванометра люксметра будут пропорциональными потоку лампы и на шкале могут быть отмечены точки, соответствующие номинальным потокам распространенных типов ламп. При контроле ламп, находящихся в работе, фотоэлемент с приставкой может укрепляться на штанге. Аналогичная приставка может применяться для контроля светового потока ламп ДРЛ.

Операция замены ламп с резьбовым цоколем в открытых светильниках и при высоте установки не более примерно 4 м поддается частичной механизации путем применения цанговых захватов на штангах.

Коренным вопросом эксплуатации является очистка светильников от пыли и грязи. Значение этого вопроса трудно переоце-

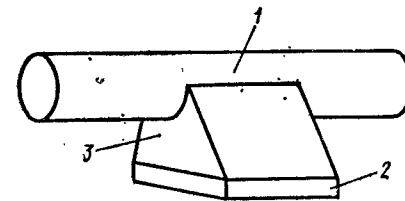


Рис. 8-5. Приставка Фолькерта
1 — лампа; 2 — фотоэлемент; 3 — приставка

нить. Загрязнение светильников резко уменьшает их коэффициент полезного действия, который может дойти до нуля. В практике наблюдались светильники, о наличии в которых горячей лампы можно было судить только по нагреву стеклянного колпака. Загрязнение ведет также к искажению кривой силы света светильников, имеющих отражатели с зеркальным или смешанным отражением, приближая кривую их светораспределения к типу Д.

СНиП II-4-79 [1] устанавливает следующее минимальное число очисток в год:

- 18 — в наиболее пыльных помещениях;
- 6 — в помещениях со средним выделением пыли;
- 4 — в малозапыленных помещениях и на территориях пыльных производств;
- 2 — на территориях городов и непыльных производств.

Очистка светильников может производиться на месте их установки или в мастерской (при массовом опросе в пользу каждого из этих решений выказалось по 50% опрошенных). Этот вопрос должен решаться в зависимости от того, являются ли светильники легкосъемными и имеют ли они съемные части, подлежащие очистке, а также в зависимости от характера загрязнений. По-видимому, правильна рекомендация производить капитальную очистку в мастерской после 2—4 текущих очисток на месте установки.

Способ очистки определяется характером загрязнений и материалом очищаемой поверхности. Сухая пыль часто может быть удалена сухой протиркой или даже обдуванием; в более трудных случаях необходимо применение мокрой очистки или специальных растворителей.

По данным опроса в 50% случаев производится сухая очистка, в остальных случаях (в порядке убывания) применяются вода, мыло и моющие порошки, сода, спирты, бензин, керосин, щелочи и кислоты.

И. И. Несторович («Светотехника», 1970, № 7) рекомендует для очистки светильников следующие составы:

№ 1. Соляная кислота — 4%, фтористый натрий — 8%, уротропин (ингибитор коррозии) — 1%, вода 87%. Раствор является сильнодействующим. Используется для очистки отражателей, покрытых силикатной эмалью: время очистки 1—2 мин при температуре 25—30 °С. После обработки — промывка водой.

№ 2. Щавелевая кислота — 10%, перманганат калия — 0,15%, нитрат натрия (ингибитор коррозии) — 10%, вода — 79,85%. Состав рекомендуется для очистки алюминиевых и эмалированных отражателей. Время очистки 3—5 мин при температуре 25—30 °С.

№ 3. Алкиларилсульфонат РАС — 5%, кальцинированная сода — 30%, жидкое стекло — 12%, сульфонат (НП-1) — 3%, нитрит натрия — 1%, вода — 49%. Раствор рекомендуется для очистки отражателей, покрытых маслянистой грязью. Время очистки 3—4 мин при температуре 50—60 °С.

На ранних стадиях загрязнения, т. е. для «текущей» очистки, И. И. Несторович рекомендует воду с мыльным раствором.

Технология массовой очистки светильников в условиях мастерских еще полностью не отработана. В качестве одного из ва-

риантов может быть рекомендована следующая организация работ по очистке.

Поступающие из цехов светильники помещаются на стеллажи первичного хранения, откуда очередная партия светильников на специальных передвижных стеллажах подвозится к двоянным эмалированным ваннам. В первой из ванн производится очистка соответствующим составом, во второй — обмывание водой. При очистке могут быть использованы механические щетки. Очищенные светильники помещаются на стеллажи, сушатся и отвозятся к месту хранения, после чего возвращаются в цехи.

Само собой очевидно, что если очистка светильников производится в мастерской, то должен иметься своего рода «обменный фонд» светильников, которые устанавливаются на место снятых для очистки.

Помимо очистки светильников, в мастерской должен производиться их текущий ремонт, т. е. в большинстве случаев замена патронов, стартеродержателей и других деталей, а также проверка и замена пускорегулирующих аппаратов. Следует предостеречь от попыток замены в условиях мастерских эмалировки или иного покрытия отражателей: сделать это с хорошим качеством невозможно.

Пары ртути, содержащиеся в газоразрядных лампах, сильно ядовиты, поэтому ни в коем случае нельзя хранить новые или использованные газоразрядные лампы иначе как в специальном помещении, в надежной таре; по мере накопления использованных ламп они должны помещаться в контейнеры и специальными автомашинами вывозиться для захоронения в отведенные для этого места.

Более прогрессивным решением является выполнение дезактивации (точнее — демеркуризации) использованных ламп, со сбором ртути для вторичного использования или с переводом ее в безвредное химическое соединение.

Демеркуризационные установки должны отвечать строгим санитарным требованиям. Их целесообразно выполнять механизированными; возможная же производительность таких установок многократно превышает потребности самого крупного предприятия. Поэтому ставится вопрос о создании таких установок в городском или районном масштабе.

Все работы, связанные с обслуживанием осветительных установок, должны производиться с соблюдением требований техники безопасности, изложенных в нормативных документах. Основными из них являются:

работавшие должны иметь соответствующую квалификационную группу по технике безопасности;

все операции по обслуживанию светильников на месте их установки должны выполняться при отключенных групповых линиях или, по крайней мере, при отключении данного светильника с помощью контактного разъёмного соединения или выключателя;

работы на высоте должны выполняться двумя работниками, из которых один непосредственно выполняет работу, другой же является страхующим.

Выше вопросы эксплуатации рассматривались в предположении, что они полностью решаются персоналом предприятия. Весьма перспективен, однако, и другой вариант, широко применяемый в зарубежной практике, а именно: создание специальных бюро обслуживания осветительных установок. В задачу таких бюро входит замена ламп, а также текущий ремонт и очистка светильников (для выполнения остальных работ должна быть сохранена в уменьшенном объеме светотехническая служба предприятия). В этом случае используются все преимущества узкой специализации, а обслуживающий персонал может быть вооружен наиболее совершенными техническими приспособлениями. Пока в нашей стране имеется только опыт работы хозрасчетного предприятия «Грузсвет», осуществляющего обслуживание установок наружного и архитектурно-декоративного освещения.

8-4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОБОСНОВАННОСТЬ ВЫБОРА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

На освещение во всем мире затрачивается около 15% всей вырабатываемой электрической энергии, т. е. в масштабах нашей страны — около 150 млрд. кВт·ч ежегодно. Стоимость выполнения осветительных установок составляет 15—25% от всей стоимости промышленных электроустановок, стоимость же их монтажа достигает 30—50% от всей стоимости электромонтажных работ.

Средства, затрачиваемые на устройство и эксплуатацию освещения, никоим образом не являются непроизводительными, поскольку без искусственного освещения значительную часть времени невозможно нормальная жизнедеятельность людей. Более того как ранее было отмечено, в большинстве случаев разумное увеличение затрат на освещение с лихвой окупается одним только увеличением производительности труда.

Однако, как и во всех других областях техники, при устройстве и эксплуатации освещения следует не допускать необоснованных излишеств и стремиться к созданию необходимых осветительных условий при наименьших затратах. Естественными и основными путями экономии энергии и средств в осветительных установках являются:

1. Включение освещения там и тогда, где и когда это необходимо, что достигается правильным режимом эксплуатации и применением соответствующих систем управления, в частности программного или фотоавтоматического. Вместе с тем в этом вопросе следует избегать таких крайностей, которые могут быть источником опасности, например кратковременное включение освещения лестничных клеток только на время прохода человека.

2. Использование высокоэкономичных источников света. Так, в разгар энергетического кризиса в капиталистических странах в массовом порядке осуществлялась замена ламп ДРЛ и даже ДРИ более экономичными лампами ДНаТ.

3. Поддержание в чистоте светопроемов естественного освещения и светильников.

4. Обеспечение высоких коэффициентов отражения стен и потолков помещений, а также полов и самого оборудования.

Существенное значение имеет выбор при проектировании или устройстве освещения наиболее экономичных вариантов, в связи с чем подробнее остановимся на методике технико-экономического сопоставления последних.

В осветительных установках различаются первоначальные капитальные вложения K и годовые эксплуатационные затраты P .

Составляющими K являются: стоимость приобретения оборудования и материалов, стоимость электромонтажных работ, а также строительных работ, связанных с оборудованием освещения, и в отдельных случаях — стоимость оборудования светотехнических мастерских или лабораторий.

Составляющими P являются: стоимость электроэнергии, расходуемой источниками света, теряемой в сети, а также затрачиваемой на операции обслуживания (например, на перемещение кранов, если светильники обслуживаются с них), амортизационные отчисления от суммы капитальных вложений, стоимость текущего ремонта осветительного оборудования, стоимость заменяемых ламп, зарплата персонала, обслуживающего осветительную установку.

Значения K определяются по сметам проекта и являются одним из оснований для выбора между несколькими возможными решениями. Эти же значения, заимствованные из проектов-аналогов или статистически обработанных удельных показателей по ранее выполненным проектам используются для предварительного определения стоимости установки на начальных стадиях проектирования.

В разное время изучались и использовались удельные значения K , отнесенные к различным измерителям: площади или объему здания, «светоточке», киловатту установленной мощности. При любом измерителе удельные значения K в силу ряда причин оказываются крайне неустойчивыми и не могут быть твердо фиксированы даже для зданий определенного типа. Здесь играют роль такие обстоятельства, как детали архитектурного решения, удаленность источника питания и др. Наименее устойчивы показатели, отнесенные к единице объема здания, наиболее устойчивы показатели, отнесенные к «светоточке», в последнее время наиболее часто оперируют показателями, отнесенными к 1 кВт установленной мощности. Для грубой ориентации укажем, что стоимость оборудования 1 кВт чаще всего лежит в пределах 100—150 руб. — для ламп накаливания и 300—450 руб. — для газоразрядных ламп, хотя может выходить и за эти пределы.

В некоторых случаях, когда речь идет не о сопоставлениях для конкретных объектов, а о решении задач в общем виде, оказывается возможным и удобным стоимость C того или иного вида однородных изделий, отличающихся мощностью, сечением и т. п., определять по формуле:

$$C = a + bX, \quad (8-1)$$

где X — изменяющийся параметр. Так, стоимость (в рублях) лампы ДРЛ с ошибкой не более 8% может быть выражена формулой

$$21,7 + 0,0173P,$$

где P — мощность, Вт.

Для определения параметров формулы (8-1) строится график зависимости C от X , и если он может быть приближенно заменен прямой линией, то формула (8-1) является обычным уравнением этой прямой.

Размер эксплуатационных затрат $P_э$ используется в сочетании со значением K при сопоставлении вариантов.

Пусть для двух вариантов найдены показатели K_1 , K_2 и $P_{э1}$, $P_{э2}$. Если оба эти показателя отличаются в одном направлении, т. е. $K_1 > K_2$ при $P_{э1} > P_{э2}$ и $K_1 < K_2$ при $P_{э1} < P_{э2}$, то выбор более экономичного варианта очевиден, и дополнительные расчеты нужны, лишь когда эти показатели различаются в разных направлениях.

Пусть, например, $K_1 > K_2$, но $P_{э1} < P_{э2}$, тогда по действующим положениям первый вариант признается более экономичным и может быть выбран, если увеличенные капитальные затраты окупаются уменьшением эксплуатационных расходов не более чем за 8,3 года. Это позволяет оценивать экономичность сопоставляемых вариантов по минимуму приведенных затрат.

Применительно к осветительным установкам приведенные затраты складываются из 12% капитальных вложений на выполнение установки (приобретение и монтаж светильников, ламп, электрооборудования, осветительных сетей) и годовых затрат на ее эксплуатацию. Доля капитальных вложений в размере 12% в приведенных затратах обусловлена установленным для капитального строительства коэффициентом окупаемости вложений, равным 0,12, что соответствует указанному выше сроку окупаемости — $1 : 0,12 = 8,3$ годам.

Из сказанного следует, что приведенные затраты выражаются формулой

$$З = 0,12K + P_э. \quad (8-2)$$

Из нескольких сравниваемых вариантов наиболее выгодным будет тот, для которого значение $З$ оказывается наименьшим.

Для практических расчетов удобно выражение (8-2) несколько преобразовать. В состав эксплуатационных затрат входят, как указано, амортизационные отчисления и стоимость текущего ремонта. Первые составляют определенный процент от капитальных вложений: 10% — для электрооборудования и 4% — для строительной части здания; вторые, применительно к освещению, можно считать учитываемыми совместно с текущим обслуживанием светильников. Тогда формуле приведенных затрат можно придать следующий вид:

$$З = 0,22K_с + 0,14K_э + Э, \quad (8-3)$$

где $K_с$ и $K_э$ — капитальные вложения соответственно в электро-техническую и в строительную часть; $Э$ — «чистые» эксплуатационные расходы, состоящие из оплаты энергии, стоимости заменяемых ламп и заработной платы обслуживающего персонала.

Экономические сопоставления являются полноценными лишь в случаях, когда сопоставляемые варианты одинаковы по всем качественным показателям, чего в технике освещения далеко не всегда можно достичь и что вызывает ряд затруднений, а то и спорных вопросов.

Пусть при заданной наименьшей освещенности 100 лк сопоставляются два варианта расположения светильников, в одном из которых определена наименьшая освещенность 90 лк и $З = 100$ единиц, а в другом освещенность 120 лк и $З = 110$ единиц. Поскольку в обоих случаях освещенность лежит в пределах установленных для расчета допусков, оба варианта являются правомерными и может показаться, что выбору подлежит первый из них. Хотя такая точка зрения и имеет сторонников, но в принципе она неверна: производительность труда и все другие показатели, характеризующие эффективность освещения, осязаемо изменяются и при изменении освещенности в пределах установленных допусков и варианты «—10%» и «+20%» не являются равноценными. Освещенность можно рассматривать как своего рода продукцию осветительной установки и оценивать экономичность последней по стоимости единицы этой продукции (в зарубежной литературе часто сопоставляются показатели, отнесенные к единице полезного светового потока). В приведенном случае затраты на один люкс составляют в первом варианте 1,11 единиц, во втором — 0,92 единицы, т. е. второй вариант оказывается экономичнее.

Более глубокое рассмотрение задачи выявляет еще два вопроса.

Зависимость зрительных функций, а также производительности труда от освещенности носит логарифмический характер, и возможно уместнее в подобных расчетах оперировать не освещенностями, а их логарифмами, что связано с дополнительными, чисто математическими затруднениями, которые мы не будем рассматривать. Далее, производительность цеха в целом и психофизиологическая эффективность освещения определяется не значением минимума освещенности в случайных точках, а средней освещенностью, а то и пространственным характером освещения. Эти вопросы еще не решены, и пока мы придерживаемся принципа минимизации расходов на 1 лк, по крайней мере, в случаях, когда не учитывается особо экономический эффект, достигаемый повышением производительности труда. О сопоставлении вариантов с резко отличающимися значениями освещенности, что наблюдается, например, при выборе источников света, будет сказано в дальнейшем.

Нередко приходится сопоставлять варианты, отличающиеся такими качественными признаками, которые не влияют непосредственно на производительность труда (или принимать вариант освещения для помещений, в которых вообще не производятся работы), но отличаются эстетическим или психологическим воздействием на людей, влиянием на их здоровье, безопасность и т. д. В подобных случаях выбор варианта не может, конечно, основываться на минимуме затрат и экономические показатели могут быть использованы лишь для того, чтобы показать, какой ценой достигается то или иное качественное преимущество, и субъективно оценить допустимость этого.

Приходится отметить некоторую условность экономических расчетов в светотехнике, так как расходы, связанные с эксплуатацией, мы неизбежно оцениваем, исходя из нормативно заданного режима эксплуатации, хотя отлично знаем, например, что требуемые нормами СНиП [1] 18 очисток светильников в год для пыльных цехов являются обоснованными, но практически едва ли где-нибудь осуществляются.

В настоящее время не допускается вводить в экономические расчеты какие-либо коэффициенты, учитывающие относительную ценность или дефицитность

отдельных составляющих. Единственной мерой стоимости являются деньги. Тем не менее надо сказать, что вопросы регулярного обслуживания осветительных установок настолько важны, а возможности выделения для этого достаточного количества монтеров столь ограничены, что при прочих равных условиях должно отдаваться предпочтение варианту, требующему меньших затрат труда на обслуживание.

При сопоставлении вариантов отнюдь не требуется каждый раз учитывать все составляющие затрат. Те из них, которые в сопоставляемых вариантах не изменяются, могут, естественно, не входить в величину Z .

Обратимся к рассмотрению основных составляющих эксплуатационных расходов.

Оплата стоимости электроэнергии. Установленная мощность освещения P определяется как суммарная мощность ламп с учетом потерь в пускорегулирующей аппаратуре, стоимость же электроэнергии находится по формуле

$$\Delta_3 = f \tau k_{\text{сп}} P, \quad (8-4)$$

где f — тариф на электроэнергию, руб/(кВт·ч); τ — годовое число часов использования освещения; $k_{\text{сп}}$ — коэффициент спроса.

Значение f принимается по данным местной энергосистемы, при отсутствии же таких данных (или при выполнении расчетов, не привязанных к определенному району страны) должно приниматься равным 0,015 руб/(кВт·ч).

Значения τ приводятся во многих справочниках и даются в зависимости от сменности работы, географической широты расположения объекта и наличия или отсутствия естественного освещения. Надо, однако, сказать, что эти данные рассчитаны по световому календарю, а не определены статистическим путем и скорее всего являются заниженными.

Возможной составляющей затрат является стоимость потерь электроэнергии в сети. Пусть линия, например, однофазная, рассчитана на нагрузку P , характеризуется относительной потерей напряжения ΔU , имеет расчетный ток I и сопротивление проводов в оба конца составляет R . Известен также коэффициент мощности нагрузки.

Потеря мощности определяется выражением

$$\Delta P = \frac{I^2 R}{P} = \frac{I R}{U \cos \varphi},$$

но так как потеря напряжения рассчитывается по формуле

$$\Delta U = \frac{I R \cos \varphi}{U},$$

то, сопоставляя оба эти выражения, находим

$$\Delta P = \frac{\Delta U}{\cos^2 \varphi}, \quad (8-5)$$

при безындукционной же нагрузке $\Delta P = \Delta U$. В этом последнем случае ΔP не может, очевидно, превышать 5—6%.

Вопреки некоторым указаниям в литературе в большинстве случаев учитывать ΔP в экономических расчетах не следует, причем не только из-за ее малости. Во-первых, очень часто ΔP оказывается одинаковой для сопоставляемых вариантов, во-вторых, если в силовых сетях мощность, теряемая в сети, прибавляется к мощности, потребляемой нагрузкой, то в осветительных сетях дело обстоит иначе: имея нагрузку суммарной мощностью P и увеличивая ΔP , мы будем забирать от источника питания все меньшую, а не большую мощность. В итоге учет ΔP необходим лишь в некоторых случаях, например, когда рассматривается вопрос о применении вольтодобавочных трансформаторов или о целесообразности увеличения потери напряжения в сети. В этом случае, учитывая ΔP , мы должны также учитывать не номинальные значения мощности и светового потока ламп, а соответствующие пониженному напряжению.

Стоимость обслуживания светильников. Вполне официальных данных по этому вопросу до сих пор нет. Время, затрачиваемое на обслуживание, зависит в основном от конструкции светильника, способа доступа к нему и технологии очистки, в свою очередь определяемую характером загрязнений.

Пока в практике расчетов часто используются данные, опубликованные в журнале «Светотехника», согласно которым усредненная стоимость одной очистки принимается 0,3 руб. — для светильников с лампами накаливания, 0,4 руб. — для светильников с лампами ДРЛ и ДРИ и 0,5 руб. — для светильников с люминесцентными лампами. Эти значения должны быть, однако, умножены на коэффициенты, характеризующие сложность доступа к светильникам, в частности, 1,0 — при обслуживании с уровня пола или настила светотехнических мостиков, 1,25 — при обслуживании с лестниц или стремянок, 2,25 — с мостовых ремонтных кранов и 2,5—4 — с технологических кранов в зависимости от степени их занятости. Число очисток, согласно СНиП, принимается в пределах от 2 до 18 в год.

Стоимость замены ламп. Если в сети ожидается нормальный режим напряжения, то срок службы ламп τ принимается равным номинальному, если же есть основания ожидать, что среднее эксплуатационное напряжение будет отличаться от номинального, или если такой режим предусматривается намеренно, то срок службы ламп определяется по кривым рис. 2-4. В обоих случаях число замен ламп в год составит $T : \tau$, где T — годовое число часов использования освещения. На кратность замены ламп должна быть умножена их суммарная стоимость с учетом также стоимости рабочей силы по замене ламп. Последнюю можно приравнять к стоимости обслуживания светильников, так как во времени, необходимом для замены ламп, значительную долю составляет время, необходимое для доступа к светильнику и снятия стекла или решетки. Стоимость замены ламп с различным сроком службы определяется отдельно.

Несколько иначе решается вопрос, если предусматривается групповая замена люминесцентных ламп. В этом случае под τ следует понимать срок, по истечении которого планируется общая замена ламп, т. е. 0,7—0,8 их номинального срока службы, стоимость же рабочей силы при замене должна учитываться только в том слу-

чае, если отдельно не учитывается стоимость очистки светильников, так как замена ламп совмещается с очередной очисткой.

На некоторых других составляющих затрат мы здесь не останавливаемся.

Ниже приводятся некоторые примеры экономических сопоставлений при выборе вариантов и перечисляются наиболее характерные задачи, которые приходится решать на практике. Отмечается, что некоторые вопросы методики могут быть спорными.

Обоснование экономической целесообразности ограничения напряжения

К групповому щитку присоединено 250 ламп накаливания средней мощностью по 200 Вт каждая (общая мощность 50 кВт). Годовое число часов использования освещения около 4000. Обслуживание производится со стремянок 12 раз в год. Среднее эксплуатационное напряжение равно 104% номинального, соответственно чему расчетный срок службы ламп 600 ч и мощность 107% номинальной. Требуется определить, является ли целесообразной установка перед щитком ограничителя напряжения типа ТОН 3-220-63, имеющего коэффициент полезного действия 0,99 и стоящего, включая установку, 800 руб.

Составляющей K будет в этом случае только стоимость ограничителя, составляющих Σ — изменяющаяся оплата за энергию и расходы на замену ламп. Все остальные расходы можно считать неизменными.

Годовая стоимость энергии:

$$50 \cdot 1,07 \cdot 4000 \cdot 0,015 = 3210 \text{ руб. — без ограничителя;}$$

$$(50 + 50 \cdot 0,01) \cdot 4000 \cdot 0,015 = 3030 \text{ руб. — с ограничителем.}$$

Кратность замены ламп составляет $4000 : 600 = 6,7$ — без ограничителя и $4000 : 1000 = 4$ — с ограничителем. Стоимость 250 ламп, включая рабочую силу для их замены, составляет около 200 руб. Таким образом, годовая стоимость замены ламп будет:

$$200 \cdot 6,7 = 1340 \text{ руб. — без ограничителя;}$$

$$200 \cdot 4 = 800 \text{ руб. — с ограничителем.}$$

Отсюда изменяющаяся часть приведенных затрат:

$$3210 + 1340 = 4550 \text{ руб. — без ограничителя;}$$

$$0,22 \cdot 800 + 3030 + 800 = 4006 \text{ руб. — с ограничителем.}$$

Экономическая целесообразность применения ограничителя напряжения очевидна.

Установка вольтодобавочного трансформатора

Здание с расчетным максимумом нагрузки 25 кВт при $\cos \varphi = 1$ питается кабелем от подстанции, удаленной на 500 м. Годовое число часов использования освещения 2500. Полная допустимая потеря напряжения в сети 40%, из которых в питающей сети может быть потеряно 3%, для чего по расчету необходим кабель с сечением фазовой жилы 95 мм².

Рассмотреть экономическую целесообразность установки перед вводным щитком вольтодобавочного трансформатора (ВДТ) напряжения 220/12 В.

Расчетный ток нагрузки 37 А. Такой ток не превышает номинального тока вторичной обмотки трехфазного трансформатора 220/12 В, мощностью 1500 В·А, который и выбираем. Так как трансформатор добавляет к напряжению 12 В, т. е. 5,4%, то питающий кабель может быть рассчитан уже на потерю $3 + 5,4 = 8,4\%$ и его сечение будет 35 мм² (что, кстати, более чем достаточно по току нагрузки). Потеря мощности в самом трансформаторе пренебрежимо мала, и изменяющимися составляющими затрат можно считать только стоимость кабеля, трансформатора и, что особо отмечается, в данном случае должны быть учтены

потери энергии в кабеле, так как установка добавочного трансформатора не меняет мощности, потребляемой источниками света, но ведет к увеличению потерь энергии в сети.

Вариант без установки вольтодобавочного трансформатора. Стоимость питающего кабеля длиной 500 м сечением 95 мм², включая стоимость прокладки, составляет 3 руб·500 = 1500 руб.

Стоимость потерь энергии в питающем кабеле

$$25 \cdot 0,03 \cdot 2500 \cdot 0,015 = 28 \text{ руб.}$$

Изменяющаяся часть приведенных затрат

$$0,22 \cdot 1500 + 28 = 358 \text{ руб.}$$

Вариант с установкой вольтодобавочного трансформатора. Стоимость питающего кабеля длиной 500 м сечением 35 мм², включая стоимость прокладки, составляет 1,9 руб·500 = 950 руб.

Стоимость трехфазного трансформатора мощностью 1500 В·А с установкой 35 руб.

Стоимость потерь энергии в питающем кабеле

$$25 \cdot 0,084 \cdot 2500 \cdot 0,015 = 79 \text{ руб.}$$

Изменяющаяся часть приведенных затрат

$$0,22 (950 + 35) + 79 = 296 \text{ руб.}$$

Вариант с установкой трансформатора несколько экономичнее.

В числе других задач, при решении которых используются методы экономического сопоставления, могут быть отмечены следующие.

1. Выбор схемы питания или рода проводки. В подобных случаях сопоставляемые варианты имеют, как правило, одинаковые эксплуатационные расходы и оптимальный вариант непосредственно определяется по минимуму капитальных вложений. При равенстве или близости последних для различных вариантов выбор может определяться такими факторами, как удобство обслуживания, степень индустриализации монтажных работ и т. д.

2. Решение вопроса о необходимости компенсации реактивной мощности в установках с лампами ДРЛ. В полном объеме вопрос может быть решен только в комплексе других вопросов электроснабжения. Если ограничиться осветительной установкой как таковой, то и в ее пределах есть ряд показателей, на которые влияет установка компенсирующих конденсаторов. При установке конденсаторов уменьшаются: число групп на щитках и соответственно стоимость последних; протяженность групповой сети и соответственно, ее стоимость; питающие сети, сечения которых могут быть уменьшены; стоимость аппаратуры на распределительном устройстве; потери энергии в питающей сети за счет увеличения нагрузки, однако увеличивается стоимость самих конденсаторов, а также активные потери энергии в конденсаторах.

3. Выбор типа источников света. Если производится выбор между различными типами газоразрядных ламп, то имеет место обычная экономическая задача, которая решается сопоставлением

приведенных затрат в осветительной установке. Дополнительными факторами являются качественные показатели: спектральный состав света, коэффициент пульсации освещенности и т. д. Значительно сложнее обстоит дело при сопоставлении ламп накаливания и газоразрядных ламп из-за различия в этом случае самих норм освещенности.

Исчерпывающее решение может быть получено только в результате полного экономического анализа, с учетом влияния условий освещения на производительность труда. Для этого нет необходимости ставить соответствующие исследования именно на данном предприятии, так как накапливаются и публикуются данные, позволяющие приблизительно оценить связь между освещенностью и производительностью труда. Эту связь можно задать «коэффициентом отзывчивости» — числом, на которое надо умножить относительное изменение освещенности, чтобы получить относительное же изменение производительности труда. Например, по данным, опубликованным в журнале «Светотехника» № 6 за 1972 г., этот коэффициент близок к 0,025 — для ткацких цехов, и составляет 0,005 — для грубых работ и т. д. (приведенные числа не являются статистически достоверными ввиду малого объема опытов).

Часто исчерпывающий анализ заменяется подсчетами, носящими иллюстративный характер и используемыми для агитации в пользу газоразрядного освещения, кстати вполне уместной.

Нетрудно, например, подсчитать, что генерирование одного и того же количества световой энергии (люмен-часов) обходится при использовании газоразрядных ламп существенно дешевле, чем при лампах накаливания.

Если принять, что капитальные вложения на один киловатт составляют 125 руб при лампах накаливания и 250 руб — при люминесцентных лампах, и учесть, что средняя световая отдача ламп накаливания около 15 лм/Вт, а световая отдача ламп ЛБ-40, с учетом потерь в ПРА, 63 лм/Вт, то можно убедиться, что капитальные вложения при сопоставляемых источниках света выравниваются, даже если при люминесцентных лампах осуществляются удвоенные значения освещенности. Сопоставляя срок службы и цену лампы накаливания и люминесцентной лампы, легко убедиться, что расходы на замену ламп, отнесенные к равному потоку, при люминесцентных лампах меньше.

4. Выбор типа светильника. Если сопоставляемые типы светильников близки по цене и рассчитаны на одинаковую мощность ламп, то может оказаться достаточным оценить их относительную экономичность по значениям коэффициентов использования; в более сложных случаях необходим анализ всех изменяющихся составляющих затрат.

5. Выбор способа доступа к светильникам для обслуживания. Если от принятого способа доступа к светильникам не зависят остальные решения, то сопоставляются только расходы, непосредственно связанные с обслуживанием установки: стоимость мости-

ков или площадок и их амортизация, затрата времени персонала, потребление энергии крановыми двигателями при обслуживании с кранов и т. д.

6. Выбор периодичности очистки светильников. Эта достаточно сложная задача упоминается здесь лишь для того, чтобы показать, какие специфичные вопросы возникают в области экономики освещения. На рис. 8-6 представлена так называемая пилообразная кривая, схематически иллюстрирующая изменение освещенности в процессе эксплуатации установки. Из факторов, влияющих на уменьшение освещенности, на рисунке учтено только загрязнение светильников.

Для того чтобы в наихудший момент освещенность не была ниже нормированной (E_n), начальная освещенность должна быть равна

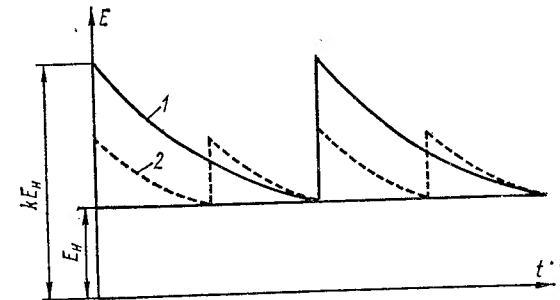


Рис. 8-6. Пилообразная кривая изменения освещенности

kE_n . При относительно редкой очистке (кривая 1) коэффициент запаса должен быть больше, чем при частой очистке (кривая 2), и естественным решением задачи является минимизация суммы затрат на очистку и на расходы, связанные со значением коэффициента запаса, а также стоимость энергии и отчисления от капитальных вложений. При этом, однако, не учитывается то обстоятельство, что при редкой очистке средняя во времени освещенность будет выше, чем при частой очистке, что, конечно, играет определенную роль.

7. Комплексное сопоставление вариантов осветительных установок. Большая многовариантность возможных проектных решений осветительных установок часто затрудняет выбор наиболее целесообразных и экономичных из них. В таких случаях прибегают к комплексному технико-экономическому сопоставлению вариантов по минимальным приведенным затратам или по капитальным вложениям и годовым эксплуатационным затратам.

Для выполнения таких сопоставлений необходимо для каждого варианта произвести расчет освещения рассматриваемого объекта (помещения или его части — модуля, территории предприятия или

отдельных характерных ее участков и т. д.), выявить для каждого варианта тип и мощность ламп, тип и количество устанавливаемых светильников и задавшись другими исходными показателями, влияющими на капитальные затраты и годовые эксплуатационные расходы (стоимость ламп, светильников, монтажа светильников и осветительных сетей, годовое число часов использования осветительной установки, тариф на электроэнергию, периодичность и стоимость чистки светильников) по определенным расчетным формулам произвести подсчет приведенных затрат или капитальных вложений и эксплуатационных затрат, и затем путем сопоставления полученных результатов для разных вариантов произвести выбор наивыгоднейшего.

Подробные указания по выполнению таких расчетов, расчетные формулы и другие необходимые пояснения приведены в статье [44].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. — М.: Стройиздат, 1980.
2. Ашкенази Г. И. Цвет в природе и технике. — М.: Энергия, 1974.
3. Электрическое освещение производственных и гражданских зданий/ Н. В. Волошкой, Г. М. Кнорринг, М. С. Рябов, А. Г. Шайкевич. — Л.: Энергия, 1964.
4. Инструкция по проектированию электрооборудования общественных зданий массового строительства. СН 19-74/Госгражданстрой. — М.: Стройиздат, 1975, 111 с.
5. Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования производственных предприятий. СН 357-77. — М.: Стройиздат, 1977.
6. ПУЭ. Раздел VI. Электрическое освещение. М.: Атомиздат, 1977.
7. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. — М.: Экономика, 1969.
8. Айзенберг Ю. Б., Ефимкина В. Ф. Осветительные приборы с люминесцентными лампами. — М.: Энергия, 1968.
9. Айзенберг Ю. Б., Бухман Г. Б., Пятигорский В. М. Новый принцип внутреннего освещения осветительными устройствами со щелевыми светододами. — Светотехника, 1976, № 2.
10. Кнорринг Г. М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. — Л.: Энергия, 1973.
11. Мешков В. В., Епанешников М. М. Осветительные установки. — М.: Энергия, 1972.
12. Дудилов М. С. Проекторное освещение. — Л.: Энергия, 1978.
13. Гуров М. М. Средняя цилиндрическая освещенность. — Светотехника, 1963, № 10.
14. Гуров М. М. Графический метод определения средней цилиндрической освещенности от больших светящих поверхностей. — Светотехника, 1964, № 3.
15. Епанешников М. М. Расчет цилиндрической освещенности при проектировании освещения общественных зданий. — Светотехника, 1965, № 12.
16. Епанешников М. М., Сидорова Т. Н. Методы расчета цилиндрической освещенности в установках внутреннего освещения общественных зданий. — Светотехника, 1972, № 4.
17. Свиридов Ю. И. Расчет коэффициента пульсации в осветительных установках с газоразрядными источниками света. — Светотехника, 1967, № 6.
18. Кроль Ц. И., Свиридов Ю. И. Методы расчета коэффициента пульсации освещенности в установках внутреннего освещения с газоразрядными источниками света. — Светотехника, 1972, № 2.
19. Островский М. А. Расчет яркости дорожных покрытий. — Светотехника, 1961, № 5.

20. Зильберблат Я. Б. Метод расчета средней яркости дорожных покрытий. — Светотехника, 1962, № 10.
21. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов. ВСН 22-75/Госгражданстрой. — М.: Стройиздат, 1976.
22. Кнорринг Г. М. К вопросу целесообразности применения в осветительных сетях тиристорных ограничителей напряжения. — Светотехника, 1976, № 7.
23. ГОСТ 13109—67. Нормы качества электрической энергии у ее приемников, присоединенных к электрическим сетям общего пользования.
24. Дадиев М. С. Управление осветительными сетями. — Л.: Энергия, 1978.
25. Изделия заводов Главэлектромонтажа. Шинопроводы. Электромонтажные изделия. — М.: Энергия, 1975.
26. СНиП III-33-76. Правила производства и приемки работ. Электротехнические устройства. — М.: Стройиздат, 1977.
27. Справочная книга для проектирования электрического освещения/ Г. М. Кнорринг, Ю. Б. Обденцев, В. М. Крючков и др.; Под ред. Г. М. Кнорринга. — Л.: Энергия, 1976.
28. Рябов М. С., Циперман Л. А. Электрическая часть осветительных установок. — М.: Энергия, 1966.
29. Гишин Э. Л., Кузнецов В. М. Конструктивные узлы осветительных установок. — Л.: Энергия, 1978.
30. Черниловская Ф. М. Освещение промышленных предприятий и его гигиеническое значение. — Л.: Медицина, 1971.
31. Пикман И. Я. Электрическое освещение взрывоопасных и пожароопасных помещений. — М.: Энергия, 1978.
32. Инструкция по монтажу электрооборудования пожароопасных установок напряжением до 1000 В. ВСН 294-74/ММСС СССР. — М.: Энергия, 1971.
33. Инструкция по монтажу электрооборудования, силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон. ВСН 332-74/ММСС СССР. — М.: Энергия, 1976.
34. Инструкция по проектированию электрооборудования общественных зданий массового строительства. ВСН 19-74/Госгражданстрой. — М.: Стройиздат, 1975.
35. Кнорринг Г. М. Искусственное освещение музеев. — М.: Энергия, 1969.
36. Царьков В. М. Освещение спортивных сооружений. — М.: Энергия, 1971.
37. Шефтель Е. Б. Освещение лечебных учреждений. — М.: Энергия, 1977.
38. Щипанов А. С. Освещение в архитектуре интерьера. — М.: Госстройиздат, 1960.
39. Типовые решения освещения улиц и дорог. — М.: Стройиздат, 1976.
40. Инструкция по разработке проектов и смет для промышленного строительства. СН 202-76. — М.: Стройиздат, 1976.
41. Кнорринг Г. М. Проектирование осветительных установок. — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1958.
42. Епанешников М. М. Электрическое освещение. — М.: Энергия, 1976.
43. Лурье М. Г., Райцельский Л. А., Циперман Л. А. Устройство, монтаж и эксплуатация осветительных установок. — М.: Энергия, 1972.
44. Ключев С. А. Техно-экономические расчеты при проектировании осветительных установок. — Светотехника, 1975, № 8.

Предисловие	3
Глава первая. Принципиальные основы устройства осветительных установок	5
1-1. Основные светотехнические единицы и соотношения.	8
1-2. Зрение и освещение	15
1-3. Принципы нормирования освещения	21
1-4. Цвет в технике освещения	27
1-5. Качество освещения	37
Глава вторая. Светотехническая часть осветительных установок	42
2-1. Выбор освещенности	48
2-2. Системы освещения	54
2-3. Виды освещения	64
2-4. Выбор источников света	76
2-5. Расположение светильников	79
2-6. Характеристики и классификация светильников	82
2-7. Выбор светильников по светотехническим характеристикам	84
2-8. Экономическая обоснованность выбора типа светильника.	87
2-9. Выбор конструктивного исполнения светильников	91
2-10. Общая характеристика сортамента светильников	94
2-11. Шелевые светильники-световоды	96
2-12. Оздоровительное облучение в системе общего освещения.	98
Глава третья. Расчет освещенности	103
3-1. Основные принципы расчета.	110
3-2. Метод коэффициента использования	127
3-3. Упрощенные формы метода коэффициента использования.	139
3-4. Точечный метод	150
3-5. Специальные методы расчета	155
3-6. Проекторное освещение	157
Глава четвертая. Расчет качественных характеристик освещения	160
4-1. Цилиндрическая освещенность	167
4-2. Коэффициент пульсации.	174
4-3. Средняя яркость дорожных покрытий	183
Глава пятая. Электроснабжение осветительных установок.	283
5-1. Напряжение осветительных сетей	
5-2. Источники питания и питающие сети	
5-3. Групповые сети.	
5-4. Схемы управления освещением	

Глава шестая. Электрические осветительные сети	189
6-1. Выполнение осветительных сетей	—
6-2. Выбор сечения проводников по току нагрузки и защита осветительных сетей	197
6-3. Расчет сетей по потере напряжения	202
6-4. Заземление, зануление и нулевые провода	211
Глава седьмая. Особенности освещения некоторых объектов	216
7-1. Общие сведения	—
7-2. Пожаро- и взрывоопасные зоны	217
7-3. Помещения общественных зданий	222
7-4. Архитектурно-художественное освещение	235
7-5. Освещение открытых пространств	242
Глава восьмая. Проектирование, эксплуатация и экономическая обоснованность выбора осветительных установок	251
8-1. Организация и методика проектных работ	—
8-2. Стадия рабочего проектирования	254
8-3. Эксплуатация осветительных установок	260
8-4. Экономическая обоснованность выбора осветительных установок	270
Список литературы	281

Киорринг Г. М.
 К 53 Осветительные установки. — Л.: Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1981. — 288 с., ил.

В пер.: 1 р. 30 к

В книге излагаются теоретические основы и даны практические указания по устройству, проектированию и эксплуатации осветительных установок. Рассматриваются выбор нормируемых характеристик, типы источников света, виды и системы освещения, схемы питания и управления, а также вопросы расчета освещения и осветительных сетей.

Предназначена служить руководством для работников проектных организаций и заводских энергобюро, ведущих работы по реконструкции и эксплуатации освещения, а также может быть полезна студентам электротехнических техникумов.

К $\frac{30310-125}{051(01)-81}$ 141—81 (Э). 2302060000

ББК 31.294
 6П2.19